Ex-libris
Charles Atwood
Kofoid

ELIZABETH
DAVID

KV. 20 —

600 €

€150

8 4,

M 9

Q. H. Flaccus de Arte Poet.

First Lateinische Edition.

(1)

Zahlreiche p. 38 f.

Sog. Fünfer

5 fehl. Plätze

21

DISSERTATION
SUR
LA GLACE,
OU
EXPLICATION PHYSIQUE de la formation de la Glace, & de ſes divers phénomènes.

Par M. DORTOUS DE MAIRAN, l'un des Quarante de l'Académie Françoiſe, de l'Académie Royale des Sciences, &c.

A PARIS,
DE L'IMPRIMERIE ROYALE.

M. DCCXLIX.

PRÉFACE

Qui a été lûe dans l'Assemblée publique de l'Académie Royale des Sciences, du 13 Novembre 1748.

CET Ouvrage fut écrit il y a trente-deux ans *, dans le fond d'une province où je résidois, à cent cinquante lieues de Paris, & par conséquent bien loin des secours qu'on trouve dans cette Capitale, & sur-tout dans l'Académie des Sciences, où j'eus l'honneur d'entrer deux ans après.

Les connoissances que j'ai acquises dans cette Compagnie, & mes réflexions, m'ont appris combien ces grandes ques-

* Imprimé pour la première fois à Bordeaux la même année, 1716, où il remporta le Prix proposé par l'Académie royale des Belles-Lettres, Sciences & Arts de cette ville. Réimprimé à Béziers en 1717, & à Paris en 1730, dans le second volume du Recueil intitulé, *Les vertus médicinales de l'eau commune.*

tions de Phyſique, qui tiennent aux premiers reſſorts de la machine du Monde, & du nombre deſquelles eſt, à mon avis, la queſtion de la Glace, ſont vaſtes & difficiles. On diroit cependant à en juger par le commencement de ma Diſſertation, que je voyois aſſez bien dès-lors toute l'étendue & toute la difficulté de mon ſujet. Je ne m'en expliquerois pas autrement aujourd'hui; mais il eſt certain que je les ſentirois mieux, ou que du moins j'agirois plus conſéquemment, en gardant le ſilence.

Je redonne donc ici un ouvrage que je n'oſerois entreprendre, ſi j'étois à le commencer, & que je donnerois encore moins ſous cette forme de traité complet & ſyſtématique, qui ſuppoſe tant de connoiſſances qui nous manquent, ou que nous n'avons qu'imparfaitement. Je me bornerois à quelques morceaux détachés, aux faits, aux obſervations & aux expériences; & ſi j'avois à faire mention de l'hypothèſe, ce ne ſeroit qu'en paſſant, par voie d'induction & de conjecture. Car les faits, les obſervations & les

expériences ſont la plus grande partie de cette Diſſertation, & je me flatte quelquefois qu'en leur faveur on me pardonnera tout le reſte. C'eſt dans cet eſprit que j'ai ſoigneuſement retouché mon ouvrage, & que je l'ai augmenté de plus du double.

J'en reviens cependant à cette forme ſyſtématique, & pour le dire ſans détour, à mon ſyſtème. Je crains qu'il ne m'enlève des ſuffrages qui me ſeroient précieux: car ſyſtème ou chimère ſemblent être aujourd'hui termes ſynonymes dans la bouche de bien des perſonnes, d'ailleurs habiles, & qui ſe diſtinguent par leurs ouvrages. *C'eſt un ſyſtème*, fait ſouvent la critique entière d'un livre; ſe déclarer contre les ſyſtèmes, & aſſurer que ce qu'on va donner au public n'en eſt pas un, eſt devenu un lieu commun des préfaces.

Oſerai-je après cela employer une partie de celle-ci à montrer qu'on a porté là-deſſus le préjugé au delà de ſes juſtes bornes, & d'autant plus, qu'il a un air de ſolidité & de maturité d'eſprit, qui

impoſe; en un mot, qu'il s'en faut bien que les ſyſtèmes, quelquefois même les plus haſardés, ſoient auſſi contraires à l'avancement des Sciences, & auſſi infructueux qu'on ſe le perſuade communément.

Chaque ſiècle a ſon opinion dominante, ſa méthode & ſa manière de philoſopher. Peut-être que nos prédéceſſeurs faiſoient trop de cas des ſyſtèmes, & qu'ils s'y livroient trop aiſément; mais, quoiqu'en matière de Phyſique & de Sciences humaines, ce ſoient preſque toûjours les dernières opinions qui méritent la préférence, il eſt bon d'obſerver qu'on ne manque guère de les outrer, ne fût-ce que pour les oppoſer davantage à celles du ſiècle antérieur. Il ſemble que l'eſprit humain ſe flatte de racheter par-là ſes anciens égaremens, & qu'il y entre même un peu de dépit. Deſcartes y auroit perdu, s'il avoit trouvé le monde moins entêté d'Ariſtote; Newton a gagné dans ce qu'on avoit accordé de trop à Deſcartes.

On allègue ordinairement contre les

ſyſtèmes l'inſuffiſance de nos lumières ; que les ſecrets de la Nature ſeront toûjours impénétrables pour nous, que notre intelligence eſt trop bornée pour y rien comprendre, que la Nature ne nous montre que des effets, qu'elle a étendu un voile épais ſur les cauſes, & qu'elle ſe rit de nos vains efforts.

Mais le point de diviſion entre les connoiſſances où nous pouvons aſpirer, & celles qui nous ſont interdites, entre les effets & les cauſes qui ſe compliquent ſans ceſſe, eſt-il ſi bien marqué dans la Nature, qu'on ne puiſſe pas s'y méprendre ? Ceux qui nous condamnent à une éternelle ignorance des premiers principes, ont-ils donc ſi parfaitement vû le fond des choſes, qu'il n'y ait plus d'exception, ni de réviſion à propoſer après eux ? Ce qui eſt certain, c'eſt qu'il faut en ſavoir beaucoup pour décider ainſi de la portée de l'eſprit humain, préſent & à venir.

A ces diſcours vagues & équivoques on ne manque pas d'ajoûter une foule d'exemples, tant anciens que modernes,

une ample énumération des extravagances philoſophiques que la licence des ſyſtèmes a produites : comme ſi la Philoſophie, ainſi que l'Hiſtoire, n'avoit pas dû avoir ſes temps fabuleux qui ne tirent point à conſéquence pour les ſiècles éclairés, & ſi dans ces ſiècles mêmes les plus éclairés une infinité de rêveries ſtériles ne devoient pas toûjours l'emporter ſur le petit nombre d'idées ſaines dont les Sciences pourront profiter.

On peut, je l'avoue, abuſer des ſyſtèmes, & l'on en a ſouvent abuſé. Mais qu'y a-t-il de louable & d'utile, qu'avons-nous d'excellent qui ne ſoit pas ſuſceptible d'abus ? N'abuſe-t-on pas des expériences ſi elles ne ſont conduites par la méthode, & éclairées du raiſonnement ? C'eſt preſque dire ſi elles ne ſont accompagnées de l'eſprit ſyſtématique : car tout raiſonnement renferme quelque idée générale applicable au ſujet, quelque principe de ſpéculation qui s'y rapporte, &, s'il s'agit d'expériences, quelque ſuppoſition tacite de ce qu'elles doivent donner étant bien faites.

Rappellons-nous les expériences de M. Newton sur la lumière & les couleurs ; non comme on les voit rassemblées & rédigées dans son Optique en ordre de synthèse, car ce n'est pas alors qu'il les imaginoit ; mais telles qu'on les trouve répandues dans les Transactions philosophiques, en divers temps, lorsqu'il les cherchoit ou qu'elles se présentoient à sa recherche. On les y verra naître les unes des autres, à la faveur d'une analyse exacte, & presque toûjours en conséquence de quelque réflexion systématique.

En vain dira-t-on que *l'esprit systématique a fait tomber de tout temps les Philosophes dans les plus grandes erreurs.* Cet esprit n'en est pas moins tout ce qu'il y a en nous de plus précieux, de plus nécessaire pour arriver aux connoissances les plus sublimes, comme pour exécuter les plus grandes choses. Car en quoi consisteroit-il cet esprit, si ce n'est dans une disposition naturelle tournée en habitude à nous faire un plan raisonné de notre objet, un tout de ce qui le compose,

d'après ce qui nous en eſt connu, pour monter de-là par degrés à ce que nous en ignorons, & qu'il nous eſt important d'en connoître? On abuſe des termes lorſqu'on l'entend autrement, & de cet eſprit même, lorſqu'on s'en ſert à forger des ſyſtèmes & des hypothèſes ſans néceſſité & ſans examen.

Rien n'eſt plus prudent & plus ſage que de s'occuper des faits avant que de paſſer à la recherche des cauſes, & de s'en occuper uniquement & pour toûjours, quand on déſeſpère de réuſſir dans tout autre genre. Nous ne ſaurions trop louer ceux qui ont pris cette route, & qui y marchent avec ſuccès; mais on ne peut diſconvenir en même temps qu'une conduite toute contraire ne nous ait procuré mille nouvelles vûes & d'importantes découvertes. Ceux de qui nous tenons le plus de vérités philoſophiques ont preſque tous mérité le titre, ou, ſi l'on veut, le blâme de gens à ſyſtème. Combien n'y aurions-nous pas perdu s'ils avoient été plus circonſpects ou plus timides!

Le génie de l'invention veut être échauffé, même dans les Sciences exactes; il a souvent besoin d'une espèce de verve qui l'anime & qui le développe. Il est plus que probable que Képler n'auroit jamais pensé à la fameuse Règle qui l'immortalise, si elle n'étoit venue à l'appui, si elle n'étoit sortie comme d'elle-même de son système harmonique des Cieux, tout fondé sur l'inscription des orbes planétaires aux cinq corps réguliers des Géomètres, & sur je ne sais quelles perfections pythagoriques des nombres, des figures & des consonances. Système mystérieux dont il s'occupa depuis sa première jeunesse jusqu'à la fin de ses jours, auquel il rapporta tous ses travaux, qui en fut l'ame, & qui nous a valu la plus grande partie de ses observations & de ses écrits.

Si des systèmes douteux ou chimériques peuvent quelquefois nous procurer des connoissances utiles, si des idées infructueuses par rapport à leur objet ont été l'occasion de plusieurs découvertes, que penserons-nous des systèmes que la

Nature a conſtamment avoués, & qui ſont eux-mêmes autant de découvertes capables de ſe multiplier? Faudra-t-il les ranger ſous une autre claſſe, leur donner un autre nom, & les bannir de la queſtion préſente? Oui, me répondra-t-on; ce ſont des vérités de fait avérées & non des ſyſtèmes. Je veux bien les nommer ainſi; mais la plus grande partie de ces vérités de fait qui nous ſont aujourd'hui ſi précieuſes, & ſur leſquelles on n'héſite point, n'ont-elles pas preſque toûjours commencé par n'être rien moins que certaines ou connues pour telles? Il a donc fallu du courage, de l'obſtination même pour ne les point abandonner, pour en chercher ou pour en attendre les preuves, & s'expoſer en attendant au reproche d'homme à ſyſtème: il a donc été un temps où ces vérités n'étoient que de vrais ſyſtèmes dans la ſignification la moins favorable, en un mot, de ces ſyſtèmes pernicieux à l'avancement des Sciences, & qu'il faut proſcrire, ſi l'on en croit quelques Auteurs.

Combien de contradictions la Circu-

lation du ſang n'a-t-elle pas ſouffertes!

Le ſyſtème Copernicien, dont la magnifique idée n'a guère moins étendu notre eſprit, qu'elle a agrandi l'Univers, & dont on fait remonter l'origine juſqu'à la plus reculée antiquité, n'a-t-il pas éprouvé de ſemblables & de plus puiſſantes contradictions pendant une longue ſuite de ſiècles, & preſque de nos jours? Que pouvoit-il être d'abord, en effet, qu'un hardi paradoxe, qu'une hypothèſe purement conjecturale, une ſimple analogie démentie par nos ſens, & qui ne manqua pas ſans doute de couvrir de ridicule celui qui la ſoûtint le premier?

Du ſyſtème Copernicien ſuivoit naturellement la Gravitation univerſelle, la peſanteur des parties du Soleil & de tout ce qui l'environne, de même que des Planètes & de tous les Aſtres quelconques vers leurs propres centres, qu'on n'accordoit qu'à la Terre. Copernic ne l'ignora pas, & il oſa l'avouer. Autre ſyſtème, qui ne pouvoit faire fortune en un temps où l'on étoit perſuadé que toutes les parties de ce vaſte Univers devoient

tendre vers la Terre, & ſe rapporter à la Terre, comme à l'unique habitation des êtres intelligens, dont ce partage auroit bleſſé la dignité. Mais le préjugé cède enfin aux découvertes qui ſe ſuccèdent: la Terre n'eſt plus qu'une planète huit à neuf cens fois plus petite que Jupiter ou Saturne, & la Gravitation univerſelle, ou l'Attraction priſe en tel ſens qu'on voudra, devient le fondement de toute la Phyſique céleſte Newtonienne, l'un des chefs-d'œuvre de notre ſiècle. Sans compter mille expériences, mille recherches curieuſes & utiles dont nous ſommes entièrement redevables aux efforts qu'on a faits pour établir de plus en plus cette Attraction. Car le ſimple deſir de ſavoir n'inſpirera jamais la même ardeur, qu'un intérêt perſonnel ou nationnal à défendre, qu'un ſyſtème à ſoûtenir, & ſon contraire à réfuter.

Ajoûtons que différens eſprits doivent enviſager la Nature par différens côtés; qu'il faut néceſſairement, qu'il eſt à deſirer que chacun cède à l'attrait qui le domine, & qui annonce le talent; que

les uns s'appliquent à conſtater les faits, & que les autres s'attachent à remonter vers les cauſes, ou à deſcendre des cauſes, même inconnues & ſimplement ſuppoſées, juſqu'aux effets. Ce que la règle de fauſſe poſition eſt dans le calcul, une hypothèſe heureuſement haſardée l'eſt quelquefois en Phyſique; elle nous découvre, ſi ce n'eſt le vrai, du moins quelque circonſtance qui s'y rapporte, & qui pourra nous aider un jour à le découvrir.

Enfin il ne faut que parcourir l'hiſtoire de l'eſprit humain dans ce qui tient aux Sciences naturelles, pour ſe convaincre que les ſyſtèmes ont été dans tous les temps une ſource féconde de découvertes, ou tout au moins d'obſervations & d'expériences dont on ne ſe ſeroit peut-être jamais aviſé, s'ils n'en avoient fait naître l'idée. Eh qu'importe que les ſyſtèmes nous expoſent quelquefois à prendre de fauſſes lueurs pour la lumière? Tel a été le ſort des plus grands hommes, de ces hommes nés pour redreſſer leur ſiècle; ils n'ont pas toûjours évité eux-

mêmes de s'égarer, ils n'ont pû arracher la vérité du milieu des ténèbres, ſans entraîner avec elle quelques erreurs; mais les vérités nous demeurent, & les temps diſſiperont les erreurs.

Je n'inſiſterai pas davantage ſur l'utilité des ſyſtèmes, à la tête d'un livre qui pourroit bien fournir un nouveau champ pour les combattre. J'ai voulu ſeulement faire ſentir l'excès où il me ſemble qu'on a porté un préjugé quelquefois utile, ſans prétendre éluder par-là les difficultés qu'on peut me faire contre une hypothèſe & des explications qui embraſſent en un ſens tout le ſyſtème du Monde. Mais puiſque mon ouvrage eſt public, & qu'il va reparoître dans cette quatrième Edition, je crois devoir encore donner ici quelqu'éclairciſſement ſur la *Matière ſubtile* que j'y ai miſe en œuvre, & ſur laquelle tombera peut-être la principale de ces difficultés.

La Matière ſubtile a ſubi le ſort des Syſtèmes, & par les mêmes raiſons, on n'oſeroit preſque plus l'avouer, & peu s'en faut que le nom n'en ſoit entière-

ment banni des livres de Phyſique. Je ſouſcris à ſa condamnation, ſi l'on entend par-là le premier élément de Deſcartes ſans reſtriction, & plus encore s'il s'agit de ces globules durs & inflexibles dont il rempliſſoit l'Univers, & que je crois inſoûtenables. Mais je ne penſe pas qu'on ait voulu exclurre avec la matière ſubtile Cartéſienne, tout fluide ſubtil qui pénètre les corps, tout agent inviſible, quoique matériel, comme cauſe d'une infinité de phénomènes qui frappent nos ſens. Je me flatte, dis-je, que la matière ſubtile qui fait le fond de mon hypothèſe, ne ſera pas rejetée de la Nature, dans un temps où des expériences auſſi ſurprenantes qu'inconteſtables nous décèlent un fluide dont l'activité ſe fait ſentir en un inſtant à deux mille toiſes du lieu où il eſt mis en action. Car ſeroit-ce un être métaphyſique, où le néant de matière, qui auroit beſoin d'un véhicule matériel, d'une corde ou d'une chaîne, pour ſe tranſmettre au delà du Tube ou de la Machine électrique, pour y attirer & y repouſſer alternativement de petits corps,

& pour frapper un animal d'un coup qui ne diffère preſque pas de celui de la foudre?

Les cauſes premières & méchaniques des effets de la Nature ne nous ſont ſi cachées, qu'en ce qu'elles agiſſent par ces fluides ſubtils & inviſibles, ou par quelque fluide univerſel qui opère ſous mille aſpects différens: & il n'y a pas de doute, que ſi les loix du mouvement de ce fluide, ou de ces fluides, nous étoient connues, on ne donnât raiſon d'un grand nombre de phénomènes que les expériences ne nous repréſentent que très-imparfaitement.

Mais en ſavons-nous aſſez ſur ce principe actif & inviſible, pour pouvoir l'employer dans nos recherches, ne fût-ce que par voie d'eſſai & de conjecture? Y a-t-il quelque utilité à eſpérer d'une pareille tentative? Il faut bien que Newton, que le ſage & ſolide Newton ne l'ait pas jugée téméraire, lui qui nous en fournit tant d'exemples.

Je ne parlerai pas de ceux qu'on peut recueillir de ſa grande lettre à M. Boyle, écrite en 1678, & imprimée depuis peu

avec la vie de cet illuſtre Phyſicien qui a lui-même ſi ſouvent employé ce fluide actif, & les atmoſphères inſenſibles des corps, ſur quoi roule toute cette lettre. On croiroit peut-être que M. Newton s'eſt volontiers donné carrière là-deſſus avec un ami, & qu'il a haſardé dans le particulier ce qu'il n'auroit pas voulu rendre public. Mais que penſera-t-on de la manière dont il s'en eſt expliqué quarante ans après dans ſon Optique, ſur diverſes queſtions qu'il y propoſe, & enfin ſur le grand phénomène de la Peſanteur. *J'ai inféré*, dit-il, dans l'avertiſſement ajoûté à la ſeconde édition de cet excellent ouvrage, *j'ai inféré quelques nouvelles queſtions à la fin de mon troiſième livre. Et de peur que quelqu'un ne penſe que je mets la Peſanteur au nombre des propriétés eſſentielles des corps, j'en ai ajoûté une en particulier ſur la cauſe de ce phénomène.* Or on ſait que cette queſtion, ou, comme il la nomme ailleurs, cet eſſai d'explication, porte entièrement ſur l'hypothèſe d'un fluide ſubtil, élaſtique & *comprimant*, répandu dans tout l'Univers.

Il ne s'agit point ici d'examiner plus particulièrement l'explication de M. Newton, ce que nous en devons penſer, ni en quoi elle pourroit être, ou n'être pas préférable à celles de Deſcartes, de Malebranche, & de quelques autres auteurs. Je remarque ſeulement que lorſque les plus grands Philoſophes ont tant fait que de vouloir expliquer certains effets généraux de la Nature par une cauſe intelligible (& ils l'ont tous voulu) ils ont été contraints d'avoir recours à quelque ſemblable fluide, & qu'ils n'ont fait nulle difficulté de s'en ſervir. Eh comment concevoir ſans cela, que des corps qu'on voit ne ſe pas toucher puſſent agir les uns ſur les autres? Il faut bien que quelque agent intermédiaire ſupplée à l'impulſion, & opère en effet l'impulſion; ſans quoi, comme dit fort bien M. Locke, *ce ſeroit autant que d'imaginer qu'un corps pût agir là où il n'eſt pas.* Les Savans ont beau ſe diviſer, il n'y a pas deux manières de philoſopher pour ceux qui ſont équitables & véritablement philoſophes; il s'agira toûjours de

ramener nos recherches aux notions les plus claires & les plus ſimples, d'après les faits, & l'inſpection réfléchie de la Nature.

J'admets donc la matière ſubtile dans cet eſprit, & avec toutes les qualifications dont M. Newton l'accompagne dans ſon Optique, *de fluide actif, infiniment ſubtil, d'Ether répandu dans les Cieux & ſur la Terre par ſon élaſticité, & traverſant librement les pores de tous les corps.*

Du reſte je ne me ſuis point engagé dans la diſcuſſion, s'il y a du vuide entre les interſtices de cette matière, comme le prétend M. Newton, ou ſi, ſubdiviſée à l'infini, elle forme un Plein abſolu, comme le ſuppoſent Deſcartes & le P. Malebranche. Cette queſtion eſt à mon avis plus métaphyſique que phyſique, & je crois qu'on peut s'en paſſer, je ne dis pas ſeulement dans celle de la glace, mais dans toutes les autres queſtions purement phyſiques. Car de quelque manière qu'on l'entende, il faudra toûjours en venir à de petits eſpaces, ou vuides, ou remplis de quelqu'autre fluide plus ſubtil, &, pour ainſi dire, indifférent à celui dont le

jeu produit le phénomène en queſtion; ce qui revient au même que le *vuide diſſéminé* de ces petits eſpaces. C'eſt ainſi que lorſqu'il ne s'agit que de l'air, par exemple, ſon élaſticité étant donnée, & d'expliquer ſeulement les phénomènes qui en dépendent, il eſt preſque toûjours inutile de faire attention à la matière éthérée qui remplit les interſtices de l'air.

Un ſemblable raiſonnement doit me diſpenſer d'entrer dans aucun détail ſur la cauſe de la dureté ou de la cohéſion primitive des parties des corps, que j'attribue avec quelques Philoſophes aux preſſions d'une matière ſubtile ou de ce fluide élaſtique qui environne les corps & qui pénètre plus ou moins dans leurs pores. Autre queſtion pareillement métaphyſique dès qu'on veut la pouſſer juſqu'à ſes derniers termes. En ſuppoſant l'exiſtence de ce fluide, comme je fais par voie de demande & d'hypothèſe, je n'entreprends nullement d'expliquer à ſon égard le méchaniſme par lequel il m'aide lui-même à donner raiſon de la cohérence des élémens plus groſſiers de la

matière dure ou fluide qui tombe ſous nos ſens; car il n'y auroit plus de fin à une pareille recherche. On conçoit aſſez en général que la preſſion de l'Éther ou de quelqu'autre fluide élaſtique, plus ſubtil que l'air, peut unir enſemble les élémens d'une particule d'air, comme on conçoit que l'air ambiant unit & preſſe l'un contre l'autre les deux hémiſphères d'un globe creux dont on a pompé l'air. Mais quelle autre matière ſubtile unit entr'elles avec une force quelconque, les élémens de chaque particule de la première? Car qui dit matière, dit parties, dont l'idée ne renferme celle d'aucun lien, à moins que ce lien ne ſoit compoſé lui-même d'autres parties qui ont le leur, & ainſi de ſuite à l'infini.

C'eſt apparemment de l'impoſſibilité d'arriver à cet infini par une ſemblable voie, & en quelque ſorte de l'épuiſer, que la doctrine des atomes ou des parties eſſentiellement dures & *inſécables* de la matière a pris naiſſance. Mais peu nous importe dans le cas préſent de quelque manière qu'on penſe ſur ce ſujet. Il ſuffit

que les forces actuelles du tourbillon ſolaire ou terreſtre que nous habitons, aidées de tout notre art, n'aient pû juſqu'ici nous montrer la décompoſition de certains corps au delà de leurs parties intégrantes, c'eſt-à-dire, au delà de celles qui donnent ces mêmes corps par la récompoſition, & ſans leſquelles ils ceſſeroient d'être ce que les expériences nous indiquent manifeſtement qu'ils ſont; ainſi qu'il arrive à l'or, au mercure, & à quelques autres ſubſtances réputées indeſtructibles.

La Phyſique proprement dite, & l'Infini renferment des idées contradictoires. On ne ſauroit approfondir ces queſtions abſtraites, du vuide & du plein, de l'eſpace, de la cohéſion primitive des parties de la matière, de l'origine du mouvement, ſans remonter juſqu'à la cauſe des cauſes, à la cauſe vraiment active & efficiente, en un mot juſqu'au premier Etre, & l'on peut dire en ce ſens, que toute la Phyſique, tout ce qu'en embraſſe l'objet ſoûmis à nos recherches, n'eſt qu'un corollaire de la Nature.

Le

Le Phyſicien qui ne veut point paſſer les bornes qui lui ſont preſcrites en tant que tel, peut donc hardiment regarder le vuide hypothétique dont nous venons de parler, le mouvement, la cohéſion des parties de la matière, & les parties intégrantes des corps, comme autant de données, à raiſon du ſujet qu'il traite. Il a rempli ſa tâche, ſi, en partant de ces principes, il arrive de conſéquence en conſéquence, juſqu'à la cauſe prochaine des effets naturels qu'il s'étoit propoſé d'expliquer: de même que le Méchanicien ou l'Horloger de qui nous attendions l'explication d'une horloge, eſt cenſé s'être acquitté envers nous, lorſqu'en paſſant de l'aiguille ou du balancier à tout le reſte de la machine, il nous a conduits juſqu'au poids ou juſqu'au reſſort qui en eſt le premier moteur; ſans s'inquiéter autrement de la cauſe de la Peſanteur, ou de celle du Reſſort. En demander davantage, ſe décourager, & décourager ceux qui travaillent, par la raiſon, fût-elle inconteſtable, que nous ne ſaurions aller plus loin, ſeroit fermer l'entrée à mille con-

noissances utiles dans la vie, & infiniment satisfaisantes pour l'esprit.

Après cette digression que je n'ai pas crue étrangère à mon sujet, & avant que de finir sur la matière subtile qui m'y a amené, je dois avertir, que si l'on m'accorde ce fluide actif & élastique, cause invisible de tant de phénomènes, &, selon moi, de la congélation & de la fusion, on m'accordera peut-être plus qu'on ne pense. C'est-à-dire, que dès qu'on voudra attacher une idée claire & distincte à ce fluide, on tombera nécessairement dans l'hypothèse des petits tourbillons dont le P. Malebranche a composé sa matière éthérée. Mais que fera-t-on encore en cela, que ce que nous devons présumer qu'a fait M. Newton?

Quand ce Philosophe a voulu nous donner une explication méchanique de la Pesanteur, il n'a pas prétendu sans doute, que le moyen qu'il y employoit, que son fluide élastique fût exempt de méchanisme; il n'a pas voulu expliquer une chose obscure par une autre aussi obscure, admettre l'élasticité essentielle

de la matière, pour faire voir qu'il n'admettoit pas la pesanteur essentielle de la matière. Il a donc tacitement admis les petits tourbillons : car j'ose avancer que tout autre principe d'élasticité ou de ressort dans un fluide est inintelligible. La force primitive du ressort ne peut être qu'une force centrifuge ; la force centrifuge ne peut exister que par le mouvement de la matière autour d'un centre ou autour d'un axe, & de ce mouvement naissent les tourbillons. Donc il est inconcevable qu'il y ait dans la Nature un fluide primitivement & méchaniquement élastique, s'il n'est composé de petits tourbillons. Donc M. Newton, en admettant un fluide primitivement élastique, a tacitement admis les petits tourbillons.

Et la matière du feu élémentaire de Boerhaave, de quoi seroit-elle composée, si ce n'est de semblables tourbillons ou globules élastiques ? Cet illustre Médecin a montré par mille expériences & par autant de judicieuses réflexions dont sa Chymie est remplie, que la matière du feu étoit répandue dans tous les

corps, tant fluides que ſolides, où elle n'avoit beſoin que de certaines circonſtances pour ſe manifeſter à nos ſens; qu'elle étoit toûjours plus ou moins en mouvement, que ſon caractère diſtinctif, & auquel ſe réduiſent tous les autres, étoit le reſſort, l'expanſion & la propriété de raréfier & de dilater tous les corps. Auſſi ne trouverois-je nul inconvénient à la prendre pour la matière ſubtile que j'ai adoptée dans ma Diſſertation ſur la Glace, elle en a toutes les propriétés, & elle en remplit parfaitement les fonctions.

Il réſulte donc de tout ce que nous venons d'obſerver ſur ce fluide qui anime tous les autres fluides, & qui pénètre tous les ſolides, que quelque différentes que ſoient en apparence les idées qu'on s'en eſt faites, elles concourent toutes à l'admettre, & à lui accorder une ſubtilité indéfinie, l'activité & l'élaſticité. Je ne l'admets auſſi que ſous ce point de vûe général; & c'eſt tout ce que j'avois à en dire par rapport à mon ſujet.

Je paſſe ſous ſilence quelques autres

avertiſſemens plus particuliers & moins importans, qui trouveront leur place dans l'ouvrage même. J'ajoûterai ſeulement ici, qu'en ſuivant mon premier plan, car je n'ai pas cru devoir m'en écarter, j'ai haſardé encore bien des conjectures dont je me ſerois peut-être abſtenu en toute autre rencontre; mais je les donne ſans peine, dans la perſuaſion où je ſuis qu'elles pourront fournir matière à de nouvelles obſervations & à de nouvelles expériences.

TABLE
DES CHAPITRES
Contenus dans ce Volume.

PREMIERE PARTIE.

De la Formation de la Glace. page 5

CHAPITRE I. *Définitions, principes & remarques sur la nature des Fluides & des Liquides.* 6

CHAP. II. *Mouvement inteſtin des Liquides déduit de leurs Evaporations.* 9

CHAP. III. *Suite des Définitions, Principes & Remarques ſur la nature des Fluides & des Liquides.* 17

CHAP. IV. *D'où vient que les Liquides ne ſe diſſipent pas en un inſtant, & que leurs parties réſiſtent un peu à la déſunion; & comment ſe conſerve l'équilibre entre ces parties, la matière ſubtile qui les environne & qui les pénètre, & la matière ſubtile du dehors.* 22

CHAP. V. *Formation de la Glace.* 29

CHAP. VI. *Idée générale du chaud & du froid, de l'été & de l'hiver, appliquée à la formation de la Glace.* 30

CHAP. VII. *Par quels degrés on peut imaginer que la matière subtile diminue d'activité dans un liquide qui se gèle.* 38

CHAP. VIII. *Des causes accidentelles & locales de la Congélation. Et premièrement du Nitre & des autres sels contenus dans les terres & exaltés dans l'air.* 42

CHAP. IX. *Seconde cause accidentelle de la Congélation, le Vent.* 51

CHAP. X. *Troisième cause accidentelle de la Congélation & des Gelées, la suppression ou la diminution des vapeurs chaudes qui s'élèvent du sein de la Terre.* 55

CHAP. XI. *Du Feu central ou intérieur de la Terre, & des principaux phénomènes qui en dépendent.* 57

CHAP. XII. *Effets sensibles du Feu central dans la Mer, & sur les eaux de la Mer.* 66

CHAP. XIII. *Autres effets du Feu intérieur quelconque de la Terre.* 72

CHAP. XIV. *Circonstances extérieures & locales qui se compliquent avec l'émanation, & avec la suppression des vapeurs du Feu central.* 78

CHAP. XV. *Application du principe des vapeurs centrales à la Congélation & à la Gelée.* 84

CHAP. XVI. *De la différence des congélations, ſelon la différence des liquides, en général.* 85

CHAP. XVII. *Des liquides qui ne ſe gèlent point, ou qui ne ſe gèlent que difficilement.* 87

CHAP. XVIII. *De la Coagulation.* 96

SECONDE PARTIE.

Des principaux phénomènes de la Glace. 103

SECTION PREMIERE.

Des phénomènes de la Glace dans ſes commencemens, & pendant tout le cours de ſa formation.

CHAPITRE I. *Des premiers filets de la Glace.* ibid.

CHAP. II. *Comment les filets de glace ſe joignent aux parois du vaiſſeau & entr'eux, & des figures qui en réſultent.* 112

CHAP. III. *Des bulles d'air qui ſe forment*

dans l'eau quand elle commence à ſe geler, & des divers effets qu'elles y produiſent. 117

CHAP. IV. *Augmentation du volume de l'eau quand elle approche de ſa congélation, & pendant ſa congélation.* 122

CHAP. V. *Trois cauſes de l'augmentation de volume de l'eau pendant la congélation. Première cauſe, les bulles ſenſibles d'air qui s'y forment.* 126

CHAP. VI. *Seconde cauſe de l'augmentation de volume pendant la congélation, le dérangement qui ſurvient aux parties intégrantes de l'eau, par la ſortie ou le dégagement de l'air d'entre leurs interſtices.* 139

CHAP. VII. *De l'angle ſous lequel les particules de glace & les parties intégrantes de l'eau affectent de s'unir & de s'aſſembler entr'elles pendant la congélation.* 144

CHAP. VIII. *Exemples & inductions en faveur de cette tendance.* 152

CHAP. IX. *Preuves directes de la tendance des parties de l'eau à s'aſſembler ſous un angle de 60 degrés.* 160

CHAP. X. *Troiſième cauſe de l'augmentation de volume de l'eau dans ſa congélation, le dérangement des parties en vertu de leur tendance à former entr'elles un angle de 60 degrés.* 169

CHAP. XI. *De la force de l'eau qui se glace, pour rompre les vaisseaux où elle étoit renfermée, par le concours de toutes les causes qui contribuent à son expansion.* 175

CHAP. XII. *Que la tendance à s'assembler sous un angle de 60 degrés, & l'effort d'expansion qui en résulte dans les particules d'eau qui se glacent, ont lieu indépendamment du froid & de la congélation, en des circonstances semblables à celles de la congélation.* 178

SECTION II.

Des phénomènes de la congélation, relativement à l'état & aux circonstances où se trouve l'eau qui doit se geler. Questions particulières. 187

CHAPITRE I. *Si l'eau qu'on a fait bouillir, a une disposition plus prochaine à se glacer.* ibid.

CHAP. II. *Si les grandes Rivières commencent à geler par leur superficie, ou par le fond de leur lit.* 194

CHAP. III. *De l'eau qui ne se gèle pas étant exposée à la gelée, quoiqu'elle y ait acquis plusieurs degrés de froideur au delà de celui de la congélation ordinaire.* 206

CHAP. IV. *Suite d'observations & d'expériences sur le même sujet.* 211

CHAP. V. *Réflexions sur les observations & les expériences précédentes.* 220

CHAP. VI. *Si l'eau peut quelquefois se geler dans tout un pays par un air moins froid que celui de la congélation ordinaire.* 232

CHAP. VII. *Suite du même sujet; examen du second cas; savoir, si l'eau se gèle constamment dans quelques pays par un degré de froid beaucoup moindre que celui de la congélation ordinaire indiqué sur nos thermomètres.* 239

CHAP. VIII. *Suite du même sujet considéré sous une autre face; savoir, si l'eau peut être refroidie par une violente agitation de sa masse, ou par l'impulsion redoublée d'un nouvel air, & enfin glacée.* 246

CHAP. IX. *Réflexions sur les expériences & les observations précédentes.* 257

SECTION III.

Des phénomènes de la Glace lorsqu'elle est toute formée. 261

CHAPITRE I. *Du volume de la Glace.* ibid.

CHAP. II. *Si le volume de l'eau glacée ou de la glace continue d'augmenter.* 265

CHAP. III. *De la force de la glace par sa résistance à être rompue, brisée ou aplatie, & en général de sa consistance.* 269

CHAP. IV. *De la force de la glace pour porter un poids, lorsqu'elle est elle-même portée par l'eau.* 280

CHAP. V. *De la froideur de la Glace.* 284

CHAP. VI. *Du goût de la Glace.* 287

CHAP. VII. *De la transparence de la Glace.* 291

CHAP. VIII. *De la réfraction de la Glace.* 298

CHAP. IX. *Des figures de la Glace, & de la Palingénésie.* 301

CHAP. X. *De l'évaporation de la Glace.* 306

CHAP. XI. *De la Neige.* 311

SECTION IV.

Des phénomènes de la Glace dans sa destruction ou dans sa fonte, & du Dégel. 319

CHAPITRE I. *De la fonte de la Glace en général.* ibid.

CHAP. II. *Que la glace se fond beaucoup plus lentement qu'elle ne s'est formée ; & pourquoi.* 323

CHAP. III. *De l'ordre dans lequel les parties de la glace se fondent.* 327

CHAP. IV. *Du Dégel.* 330

CHAP. V. *Plan d'observations à faire sur les retours annuels & périodiques de la gelée & du dégel, & sur leurs durées par rapport au climat de Paris, & aux autres climats de la Terre.* 333

CHAP. VI. *De la Glace ou de l'espèce de Neige qui s'attache aux murailles, après les longues gelées, pendant le dégel.* 338

CHAP. VII. *Des figures curvilignes qui se trouvent quelquefois tracées sur les vitres par plusieurs brins de glace, pendant le dégel.* 342

SECTION V.

De la Glace artificielle par le moyen des sels. 352

CHAPITRE I. *Que les sels ne font geler l'eau qu'en faisant fondre la glace qu'on met autour. Expériences sur cette fonte.* 353

CHAPITRE II. *Formation de la Glace artificielle.* 357

CHAP. III. *En quoi la Glace artificielle diffère de la Glace ordinaire.* 359

CHAP. IV. *Du dégel artificiel, ou de la ma-*

nière dont on fait dégeler les fruits & les membres gelés. 365

CHAP. V. *De l'efficacité des différens sels, pour la congélation artificielle.* 367

CHAP. VI. *Si les sels n'agissent absolument sur la Glace, pour la fondre, que par leur dissolution.* 371

CHAP. VII. *De la propriété qu'ont les Sels de refroidir l'eau où ils sont dissous, sans la glacer.* 374

CHAP. VIII. *De la congélation artificielle par le moyen des sels, sans glace.* 379

CHAP. DERNIER. *De la congélation artificielle sans glace & sans sels. Conclusion de cet ouvrage.* 382

E R R A T A.

Page.	*Ligne.*	*Faute.*	*Correction.*
7,	17, 18,	cauſée.	cauſées
22,	21,	dehors !	dehors
54,	5,	neiges.	neige
71,	2, 3,	de cette épaiſſeur	de l'épaiſſeur
103,	7,	de l'eau	de l'eau,
136,	4,	la note.	la grande note
145,	Note,	Page 83.	Page 114.
167,	28,	qui n'ont	qui n'auroient
169,	*dernière*,	ſujet on	ſujet : on
280,	23,	Dannemarc . . .	Danemarc
287,	5,	beaucoup loin . . .	beaucoup plus loin
Ibid.	Note *(b)*	Dannemarc . . .	Danemarc
356,	5,	Le morceau de. .	Le morceau du

DISSERTATION

DISSERTATION
SUR
LA GLACE,
OU
EXPLICATION PHYSIQUE de la formation de la Glace, & de ſes divers phénomènes.

EXPLIQUER la formation de la Glace, c'eſt montrer par des raiſons priſes de la nature & des propriétés des corps qui ſe changent en Glace, comment & par quelle méchanique ſe fait un tel changement. Cette explication ſuppoſe donc une connoiſſance exacte de la nature & des propriétés des corps qui ſe glacent, c'eſt-à-dire, des Liquides.

Mais les corps ne pouvant changer que par l'action d'une cauſe étrangère, il faudra

examiner ici quelque chose de plus que le Liquide & la Glace, & reconnoître nécessairement d'autres corps ou une autre matière, soit visible, soit invisible, qui détermine les Liquides à perdre leur liquidité, & à recevoir cette nouvelle modification qu'on appelle Glace.

On voit par-là de quelle difficulté est la question dont il s'agit, & par elle-même & par la liaison qu'elle a avec plusieurs autres questions très-difficiles. Disons plus, la formation de la glace & ses divers phénomènes, embrassent, en un sens, tout le système physique de l'Univers; car la cause de la Congélation est sans contredit invisible, & puisque la Glace ne se forme pas moins dans la machine du vuide que dans l'air, il faut que le corps étranger qui agit sur les liqueurs pour les glacer, soit quelque fluide beaucoup plus subtil que l'air, quelque matière éthérée & active, qui environne & qui pénètre plus ou moins tous les corps, tant durs que fluides; matière que le commun des hommes peut bien regarder comme chimérique, mais que la plus saine partie des Philosophes admet, comme la source de tous les mouvemens visibles ou invisibles, externes ou internes des corps, & par-là de tous les changemens & de toutes les variétés de la Nature; en un mot, comme le ressort de la machine du Monde.

Il faut encore considérer que le nombre des liquides différens, tant simples que composés, & par conséquent des différentes sortes de congélation, est comme infini; car quoique toutes les congélations soient analogues, en ce qu'elles partent vrai-semblablement de la même cause, elles varient néanmoins infiniment par les phénomènes qui les accompagnent. Mais si l'on approfondit davantage cette question, on trouvera qu'elle ne se borne pas aux seuls liquides, & que les corps les plus durs n'en doivent pas être exceptés.

Nous savions que les résines, les métaux, le verre, & la plûpart des minéraux & des fossiles étoient fusibles ou pouvoient devenir liquides; mais les expériences du fameux miroir ardent du Palais royal * nous ont appris qu'il n'y a presque pas de corps sur la Terre qui ne puisse être fondu & vitrifié par un feu violent; & que s'il y en a quelqu'un qu'on n'ait pû réduire à ces deux états différens, on peut présumer avec beaucoup de vrai-semblance que c'est faute d'art ou de quelqu'agent assez fort pour cela. Or qu'est-ce que la fonte causée par la chaleur, qu'un véritable Dégel! & la dureté qui survient au corps fondu par le refroidissement de ses parties, qu'une véritable Congélation! La

* Hist. de l'Acad. des Sc. 1699, *p.* 90. Mém. 1702, *p.* 141. 1709, *p.* 162.

congélation & le dégel ſont deux effets réciproques, dont l'examen appartient certainement à la queſtion préſente ; & puiſqu'il n'y a rien ſur la terre qui ne ſoit ſuſceptible de ces deux changemens, il eſt clair que la queſtion préſente tombe ſur tous les corps de la terre.

On ne s'attend pourtant pas ſans doute à me voir traiter ici de la Glace dans toute l'étendue que préſente cette idée, & je ne préſume pas aſſez de mes forces pour l'entreprendre. Mais en ne m'attachant qu'à ce qu'il y a de plus eſſentiel & de plus curieux ſur ce ſujet, quel vaſte champ ne me reſte-t-il point encore à parcourir !

J'ai déjà aſſez fait connoître que j'attribue la formation de la glace à une matière ſubtile & active qui environne & qui pénètre les liquides. Il s'agit donc de trouver le rapport qu'il y a de cette matière, & de ſes divers mouvemens à la congélation, comme de la cauſe à l'effet. Mais afin de mieux expliquer ma penſée là-deſſus, je vais reprendre la route que j'ai tenue pour y arriver, & chercher ici tout de nouveau la cauſe de la congélation, comme ſi je n'avois encore formé aucune hypothèſe ſur ce ſujet.

La théorie de la formation de la glace doit fournir l'explication particulière de ſes princi, aux phénomènes, comme réciproquement l'explication des phénomènes doit

répandre sur la théorie un nouveau jour & un nouveau degré de probabilité.

PREMIE'RE PARTIE.

De la formation de la Glace.

PUISQUE la connoissance des liquides est absolument nécessaire pour découvrir la cause de la formation de la Glace, on ne peut se dispenser de commencer cette recherche par l'examen des Liquides. Voyons donc ce que c'est qu'un liquide, & fixons l'idée qu'on s'en doit former, par des définitions & des descriptions exactes. Après cela, la cause de sa congélation, la manière dont sa liquidité peut se détruire, se présentera sans doute d'elle-même. Nous examinerons ensuite si cette cause est unique, ou s'il y en a quelqu'autre qui concoure avec elle; & enfin les différens degrés de force & d'activité qu'elle peut avoir, selon les différens sujets sur lesquels elle agit.

CHAPITRE PREMIER.

Définitions, principes & remarques sur la nature des Fluides & des Liquides.

LA *liquidité* n'est qu'une espèce de *fluidité*. Un *Fluide* en général est un corps dont les parties ne sont pas liées ensemble, qui cède aisément au toucher, qui résiste peu à la division, & qui se répand comme de lui-même.

Parmi les fluides, quelques-uns se répandent par leur ressort & par leur poids, comme l'air, par exemple; ou seulement par leur poids, comme un monceau de sable, sans que leur surface supérieure se mette exactement de niveau, & ce sont-là des Fluides proprement dits.

Mais il y en a d'autres, tels que l'eau, l'huile & le mercure, qui se répandent & par leur poids & par le mouvement que les parties qui les composent ont en tout sens les unes à l'égard des autres; de manière que s'ils sont en suffisante quantité, ils coulent & s'étendent jusqu'à ce que leur surface supérieure se soit mise exactement de niveau, & c'est-là ce qu'on nomme des *Liquides*. C'est ce niveau & ce parallélisme perpétuel de leur surface, en conséquence de leur

poids & du mouvement que leurs parties ont en tout ſens, qui les diſtingue des fluides proprement dits, & qui fait le vrai caractère de la liquidité.

Nous dirons cependant d'un liquide conſidéré dans ſes différens états, ou comparé à un autre liquide, qu'il eſt *plus ou moins fluide*, pour dire qu'il eſt plus ou moins coulant, & que ſes parties apportent moins ou plus de réſiſtance à leur ſéparation.

Le mouvement des parties des liquides n'eſt pas viſible, parce que ces parties ſont trop petites pour être aperçues; mais il n'eſt pas moins réel. Entre pluſieurs effets qui le prouvent, un des principaux eſt la diſſolution & la corruption des corps durs cauſée par les liquides. On ne voit aucun mouvement, par exemple, dans de l'eau forte qu'on a laiſſé repoſer dans un verre; cependant ſi l'on y plonge une pièce de cuivre, il ſe fera d'abord une efferveſcence dans la liqueur: le cuivre ſera rongé viſiblement tout autour de ſa ſurface, & enfin il diſparoîtra en laiſſant l'eau forte chargée par-tout & uniformément de ſes parties devenues imperceptibles, & teintes d'un bleu tirant ſur le verd de mer. Ce que les eaux fortes ſont à l'égard des métaux, les autres liquides le ſont à l'égard d'autres matières; chacun d'eux eſt diſſolvant par rapport à certains

corps plus ou moins, ſelon la figure, l'agitation, la ſolidité ou la ſubtilité de ſes parties. Or il eſt clair que la diſſolution ſuppoſe le mouvement, ou n'eſt autre choſe que l'effet du mouvement. Ce n'eſt pas le cuivre qui ſe diſſout lui-même, il ne donne pas non plus à la liqueur une agitation qu'il n'a pas; le repos de ſes parties & le repos des parties du liquide joints enſemble, ne produiront pas un mouvement; il faut donc que les parties du liquide ſoient véritablement agitées, & qu'elles ſe meuvent en tout ſens, puiſqu'elles diſſolvent de tous côtés & en tout ſens les corps ſur leſquels elles agiſſent, juſqu'à les réduire en poudre impalpable. On en peut dire autant de l'efferveſcence de certaines liqueurs, lorſqu'on les mêle enſemble. Le mouvement ſubit & intérieur qui naît de ce mélange viendroit-il de leur repos mutuel! Quelle qu'en fût la cauſe nous l'appliquerions encore à notre ſujet.

Le mouvement inteſtin des liqueurs eſt ſi indiſpenſable pour la diſſolution, que quand même on y feroit intervenir l'Attraction réciproque des parties contigues entre le diſſolvant & le corps à diſſoudre, on ſeroit encore contraint d'y admettre le mouvement ou le tranſport local & en tout ſens de celles du premier; ſans quoi il ſeroit impoſſible de concevoir qu'elles pûſſent toutes agir ſur le ſolide, ou ſur le liquide qui leur eſt ſoûmis,

les plus éloignées, comme les plus proches, & répandre uniformément les parties dissoutes, dans toute la masse du dissolvant*.

A cette preuve, qui est très-forte, j'en ajoûterai une seconde qui ne l'est pas moins. Nous la tirerons de l'évaporation des liquides, ou de leur volatilité, qui, comme on va voir, & toutes choses d'ailleurs égales, doit être d'autant plus grande, que la matière subtile ou éthérée qui les pénètre s'y meut avec plus de liberté & de vîtesse, & peut leur communiquer par-là plus de mouvement.

CHAPITRE II.

Mouvement intestin des Liquides déduit de leurs évaporations.

L'ÉVAPORATION des Liquides, en général, n'a lieu que lorsqu'ils sont exposés à l'air libre, & n'est jamais si sensible que lorsque cet air est agité ou change sans cesse. Elle est ordinairement nulle dans

* *Ipsa quoque solutio salium, quam aqua quieta peragit; demonstrat elementa illius moveri inter, licet solutio hæc Attractioni potiùs partium inter se, quàm propulsui, tribuendæ videatur: attamen solutio in tota massa vix futura videtur, nisi intestino motu, de loco in locum continenter agitata elementa, successivè ita se applicarent ad solvendum salem.* Boerhaave, Chemia, T. I, p. 300. Edit. Paris 1733.

un vaiſſeau bien bouché, & toûjours beaucoup moindre, lorſque l'air qui appuie ſur la ſurface des liquides eſt tranquille, les parties qui s'en élèvent ne pouvant alors s'échapper, ou y retombant auſſi-tôt.

Suppoſant donc un liquide expoſé à l'air libre, ſon évaporation devra être d'autant plus grande, 1° qu'il préſentera plus de ſurface à cet air; 2° que ſes parties ſeront moins peſantes, & que l'air qui frappe ſur ſa ſurface pourra, par cette ſeule raiſon, plus aiſément les ſoûtenir, les entraîner, s'en imbiber; 3° qu'il ſera plus fluide, ou que ſes parties auront moins de ténacité entr'elles; 4° & enfin, ſi le mouvement inteſtin a lieu, ſelon que ce mouvement ſera plus grand: car, comme nous l'expliquerons bien-tôt, les liquides, par cette ſeule cauſe, doivent tendre à ſe diſſiper plus ou moins vîte, ſelon qu'elle agira avec plus ou moins de force. J'avoue qu'on pourroit encore ajoûter la groſſeur & la configuration des parties; mais outre que nous ne ſavons rien d'aſſez poſitif ſur ces circonſtances, je les crois ſuffiſamment compriſes dans celles de la peſanteur ſpécifique, & de la fluidité.

Ce ſont-là, ſi je ne me trompe, les principales cauſes de l'Evaporation des liquides. Mais comme on peut toûjours faire ou ſuppoſer leurs ſurfaces égales, lorſqu'on veut comparer deux ou pluſieurs liquides

entr'eux, nous ſupprimerons cette première cauſe de leur évaporation, & nous nous arrêterons aux trois dernières, dont nous énoncerons le concours ſous cette forme abrégée; *l'Evaporation des Liquides eſt en raiſon compoſée inverſe de leurs peſanteurs ſpécifiques, & directe de leur degré de fluidité, & de leur mouvement inteſtin.*

Donc ſi l'expérience étant faite ſur ce plan, elle nous montre que de ces trois cauſes les deux premières ſont inſuffiſantes pour nous donner l'Evaporation abſolue & réelle des liquides, nous devons en conclurre que la troiſième exiſte, & nous ſerons d'autant plus en droit de le conclurre, & d'admettre cette troiſième cauſe, que l'inſuffiſance des deux premières enſemble ſera plus manifeſte & plus marquée. C'eſt ce que nous allons voir par la comparaiſon de deux liquides fort connus, l'eau & l'eſprit de vin.

J'ai expoſé ſur une fenêtre ſituée au couchant deux petites ſoucoupes de porcelaine, à peu près égales & de même poids, circulaires, & d'environ 4 pouces de diamètre à l'endroit de leur évaſement juſqu'où j'avois prévû que devoit monter la liqueur; le Thermomètre de M. de Reaumur étant alors ſur cette fenêtre à 11 degrés au deſſus du terme de la congélation, & le Baromètre à 27 pouces 10 lignes; vers les neuf à dix

heures du matin, temps ſombre, par un vent preſque inſenſible de ſud-ſud-oueſt vers le milieu du mois de Mai, à Paris; j'ai verſé dans l'une des deux ſoucoupes deux onces d'eau de rivière, & autant d'eſprit de vin, rectifié à l'épreuve, dans l'autre. J'ai réduit enſuite chacune des deux ſoucoupes, y compris la liqueeur qu'elle contenoit, en ôtant ou remettant quelque goutte de liqueur de part ou d'autre, exactement au même poids.

Le tout ainſi diſpoſé & laiſſé en expérience, pendant une heure, & ayant peſé de nouveau chacune des ſoucoupes, y compris la liqueur reſtante, j'ai trouvé au bout de cet intervalle l'eſprit de vin diminué de 2 gros 50 grains, & l'eau ſeulement de 25 grains. Ce qui donne le rapport de 194 à 25, un peu moindre que de 8 à 1.

Le 29 du même mois à midi, le Thermomètre étant à 17 degrés au deſſus de la congélation, ſur la même fenêtre, le Baromètre à 28 pouces; j'ai expoſé de même deux taſſes à café de porcelaine, ſenſiblement égales, que j'ai remplies à une demi-ligne près, l'une d'eau de rivière, l'autre du même eſprit de vin que ci-deſſus, par un vent de nord très-foible, temps ſerein & beau ſoleil, mais ni le vent ni le ſoleil ne donnant point ſur cette fenêtre. Chaque

taſſe avoit 2 pouces 7 lignes d'ouverture ; ce qui produit une ſurface à peu près en raiſon de 25 à 60, ou de 5 à 12 par rapport à celle des ſoucoupes de la première expérience. C'eſt pourquoi je les ai laiſſées 2 heures 25 minutes en expérience, pour avoir l'égalité, en compenſant par le temps ce qu'il y avoit de moins aux ſurfaces.

Au bout de cet intervalle l'eſprit de vin étoit diminué de 4 gros, & l'eau de 34 grains; ce qui donne le rapport de 288 à 34, un peu plus grand que de 8 à 1. Et comme la première expérience le donne un peu moindre, nous le prendrons comme aſſez juſte, de 8 à 1.

C'eſt à ces deux expériences, choiſies entre un grand nombre d'autres, & au rapport qui en réſulte, que je m'arrêterai ; parce qu'il n'eſt pas tant queſtion ici des Evaporations abſolues de tels ou tels liquides, en telles ou telles circonſtances, de chaud ou de froid, de ſec ou d'humide, de vent ou de calme, que de leurs évaporations relatives, leſquelles varient beaucoup moins en de mêmes circonſtances. Mais je dois avertir que les expériences qu'on feroit là-deſſus avec une trop petite quantité de liqueur, eu égard à la grandeur des ſurfaces, ou, ce qui revient au même, par un plus long intervalle de temps, & juſqu'à ſiccité de part & d'autre, ſeroient trompeuſes, en

ce que l'eſprit de vin, qui reſte un peu auparavant, eſt trop affoibli, & que dans ce cas ce n'eſt plus qu'une eſpèce de phlegme inſipide, dont l'évaporation n'a pû qu'être beaucoup plus lente que celle de l'eſprit de vin dans ſa pureté, tandis que l'évaporation de l'eau, plus uniforme, ne lui a preſque pas fait changer de nature. L'eſprit de vin qui reſtoit après les évaporations précédentes mettoit encore très-vîte le feu à la poudre.

Nous trouvons donc par ces expériences que le rapport des évaporations de l'eſprit de vin à celles de l'eau eſt environ comme de 8 à 1. Voyons préſentement quelle eſt la partie de l'évaporation abſolue des deux liquides, qu'il convient d'attribuer aux deux premières cauſes, c'eſt-à-dire, aux peſanteurs ſpécifiques & aux fluidités qui s'y compliquent.

La peſanteur ſpécifique de l'eau de rivière eſt, ſelon M. Muſſchenbroeck *(a)*, à celle de l'eſprit de vin rectifié, comme 1009 à 866, & ſa fluidité, ſelon les expériences de M. le Monnier Médecin *(b)*, comme 1000 à 1098. Cela poſé, &, que la *volatilité* ou la facilité à s'évaporer dans les liquides, eſt, toutes choſes d'ailleurs égales, en raiſon compoſée inverſe de leurs peſanteurs ſpécifiques, & directe de leurs fluidités, il eſt

(a) Eſſai de Phyſique, *p. 414.*
(b) Hiſt. de l'Acad. des Sc. 1741, *p. 15.*

clair que la volatilité de l'eſprit de vin, par ces deux ſeules cauſes, devra être à celle de l'eau, comme le produit de 1009 par 1098, au produit de 866 par 1000; ce qui ſe réduit à environ comme 5 eſt à 4.

D'où l'on voit que l'évaporation de l'eſprit de vin, par ſa légereté & par ſa fluidité, ne ſurpaſſeroit l'évaporation de l'eau, rapportée à ces deux mêmes cauſes, que de $\frac{1}{5}$; tandis que par le concours des trois cauſes elle la ſurpaſſe de $\frac{7}{8}$. Ce qui, ſans pouſſer plus loin le calcul, montre aſſez que la troiſième cauſe, le mouvement inteſtin, doit entrer dans l'évaporation de l'eſprit de vin, qu'il en conſtitue la principale partie, & par conſéquent qu'il exiſte. On trouvera d'après les mêmes expériences, & par une analyſe dont je ſupprime le détail, que le mouvement inteſtin de l'eau n'eſt pas moins réel, quoique de beaucoup moins grand, ne faiſant pas tout-à-fait la 6me partie de celui de l'eſprit de vin; & ainſi des autres liquides, toutes proportions gardées.

Ce que l'eſprit de vin eſt à l'eau en volatilité, d'autres liquides pourront l'être à l'égard de l'eſprit de vin. La liqueur chymique, connue ſous le nom d'Ether *, paroît être de ce nombre. Elle eſt ſi volatile, que le doigt qu'on y a trempé, n'en eſt plus mouillé dans l'inſtant, & que jetée en l'air en petite quantité, elle diſparoît & ne re-

* Mém. de l'Acad. 1734, *p.* 42.

tombe point. L'eau, qui fait ici le dernier terme de la comparaiſon, pourra faire le premier, & devenir à cet égard eſprit de vin par rapport à d'autres liquides, tels que l'eau forte, &c. qui ſe trouveront auſſi dans le cas de différer infiniment plus de volatilité avec elle, que de peſanteur ſpécifique & de fluidité *.

L'Evaporation des liqueurs dans le vuide prouve peut-être encore plus directement leur volatilité propre ou leur mouvement inteſtin ; puiſque le milieu ambiant, ou ce vuide, eſt cenſé n'avoir pas d'action ſenſible ſur la liqueur. Je m'en rapporterai là-deſſus aux expériences de M. Waller, qui ont été faites avec toutes les attentions poſſibles, dans le vuide le plus parfait de la machine Pneumatique, après la ceſſation des bulles, & l'évacuation réitérée de l'air contenu dans le liquide. Il ſuit de ces expériences, que l'eau, le vin, & les autres liqueurs s'évaporent dans le vuide indépendamment de toute cauſe externe, comme le choc & le contact de l'air : ſans compter pluſieurs autres conſéquences curieuſes, ſur la forme que prennent les particules de l'eau en s'évaporant, ſur leur légèreté ſpé-

* Quant à la manière dont l'air enlève les parties d'un liquide, je n'en connois pas de meilleure explication que celle qu'en a donné M. Bouillet, & qu'on peut voir dans l'hiſt. de l'Acad. des Sciences, 1742, p. 18.

cifique ou relative, &c. qu'on peut voir dans ce Mémoire *.

CHAPITRE III.

Suite des Définitions, Principes, & Remarques sur la nature des Fluides & des Liquides.

QUOIQU'IL y ait des corps, tels que la flamme, dont les parties sont extrêmement agitées de bas en haut, & du centre vers la circonférence, par un mouvement de vibration ou de ressort, ils ne sauroient être appellés Liquides; ce ne sont que des Fluides, parce que le mouvement en tout sens, le poids, & peut-être d'autres circonstances qui pourroient déterminer leurs surfaces supérieures au niveau, leur manquent.

Un liquide peut devenir fluide, ou composer un fluide par l'amas de ces parcelles, lorsqu'elles se détachent de la masse totale; comme on voit qu'il arrive à l'eau qui se résout en vapeurs. Car les brouillards & les nuages sont des corps ou des amas fluides, quoique formés de l'assemblage de parcelles liquides.

De même un fluide, proprement dit, peut

* *De ascensu vaporum in vacuo, demonstratio.* Aut. Nic. Wallerio. Acta Litter. & Scient. Sueciæ, an. 1738.

devenir liquide, ſi l'on insèredans les intervalles des parties qui le compoſent quelque matière qui les agite en tout ſens, & les détermine à ſe ranger de niveau vers la ſurface ſupérieure, à peu près comme il arriveroit à du ſablè qu'on jeteroit dans un grand vaiſſeau plein d'eau bouillante.

Et au contraire, ſi l'on imagine qu'en cet état une puiſſance ſupérieure à celle qui agite les grains de ce ſable, vienne à les ſerrer & à les comprimer fortement l'un contre l'autre, en ſorte qu'ils ne puiſſent plus ni gliſſer les uns ſur les autres, ni être ſéparés par l'eau bouillante qui coule entr'eux; ce tout, cet amas de parties intégrantes qui formoient auparavant un liquide, ne ſera plus qu'un corps dur, &, s'il m'eſt permis de parler ainſi, qu'une véritable glace.

J'explique ſoigneuſement tous ces termes, afin qu'on y attache les mêmes idées que moi. En voici quelques autres dont l'explication me donnera lieu de propoſer deux principes très-importans ſur cette matière.

J'entends par les *parties intégrantes* d'un liquide & de chaque corps, les parties qui entrent dans ſa compoſition ſelon le dernier degré de diviſion actuelle où elles doivent être pour former un tel liquide ou un tel corps, & nullement ſelon le dernier degré de diviſion poſſible où elles ſont capables d'arriver : car la matière étant diviſible à

l'infini, les parties intégrantes d'un Liquide, & celles de tout autre corps, ont elles-mêmes d'autres parties intégrantes qui les compoſent, & par leſquelles elles peuvent être diviſées & ſubdiviſées à l'infini. C'eſt ainſi du moins que nous devons le concevoir, quoique peut-être à l'égard de certaines ſubſtances, les forces actuelles de la Nature, dans la partie de l'Univers que nous occupons, ſoient inſuffiſantes pour pouſſer la diviſion au delà.

Ce que j'appelle parties intégrantes dans les liquides, je l'appellerai *molécules* dans la matière ſubtile, avec cette différence que par les parties intégrantes d'un liquide, je n'entends que de petits amas de matière compoſés d'autres parties qui ſont conçues en repos les unes à l'égard des autres; au lieu que je regarde les molécules de la matière ſubtile, comme de petits amas de matière extrêmement agitée, ou plûtôt comme autant de balons ou de petits tourbillons d'un fluide encore plus ſubtil qui tourne autour de leur centre ou de leur axe avec une rapidité indéfinie.

C'eſt la force que ces molécules tirent de cette agitation pour ſe dilater, & pour repouſſer autant qu'elles ſont pouſſées, que j'appelle leur *reſſort*.

Car d'un côté il eſt conſtant par mille expériences, que la matière ſubtile ou éthérée

a du reſſort, & de l'autre, ſi l'on veut raiſonner ſur des notions claires & diſtinctes, on ne conçoit pas que les corps puiſſent avoir d'autre force ni d'autre action que celle qu'ils tirent de leur mouvement. Il faut donc de néceſſité chercher à la matière ſubtile un mouvement qui puiſſe lui donner cette force qu'on nomme reſſort. Or on peut démontrer qu'il n'y en a point d'autre, intelligible, & capable de lui procurer cette propriété que celui que je viens de décrire, le mouvement de rotation ſur un axe ou autour d'un centre, & dont l'idée eſt dûe à l'un des plus célèbres Philoſophes de notre ſiècle *. De quelque manière cependant qu'on l'entende, il me ſuffit qu'on m'accorde le reſſort de la matière ſubtile, comme un fait que mille phénomènes nous indiquent; & c'eſt afin que chacun ait la liberté de l'imaginer comme il voudra, que je me ſers du mot vague de molécules, plûtôt que de celui de globules ou de petits tourbillons.

Un autre principe qui me paroît très-recevable, & qui doit ſon origine au même Auteur, c'eſt que la cohéſion des parties, la dureté des corps ou la réſiſtance que leurs parties apportent à leur déſunion, ne vient que de la matière ſubtile qui les environne & qui les comprime. Il eſt vrai que l'air

* Le P. *Malebranche*, 16e Eclairciſſ. ſur la Rech. de la Vérité. *Edit. 1712.*

contribue auſſi un peu à la dureté des corps par ſon poids; & perſonne n'ignore là-deſſus l'expérience des deux plans polis, ou des deux marbres creux appliqués l'un contre l'autre. Mais l'air ne comprime guères que les parties les plus groſſières de l'extérieur des corps; au lieu que la matière ſubtile ou éthérée, qui en pénètre aiſément tous les pores les plus étroits, lie avec force les plus petits amas de matière qui les compoſent. Ce ſera, ſi l'on veut, l'Attraction ramenée à un concept méchanique.

Suivant ces principes, les parties intégrantes d'un liquide ſeront plus ou moins dures, ſelon que la matière ſubtile les comprimera davantage, ou par la liberté & la vîteſſe avec laquelle elle ſe meut entr'elles, ou par la quantité & la qualité des ſurfaces qui joignent entr'eux les élémens ou parties encore plus petites qui compoſent les premières. Ces parties intégrantes ſont comme environnées de toutes parts de la matière ſubtile; elles y nagent, y gliſſent, & ſuivent en tout ſens les mouvemens qu'elle leur imprime, ſoit que le liquide ſe trouve dans l'air, ſoit qu'il ſe trouve dans la machine Pneumatique. C'eſt le plus ou le moins de cette matière enfermée dans un liquide, ſelon qu'elle a plus ou moins d'agitation & de reſſort, qui fait principalement le plus ou le moins de liquidité: mais le plus ou le

moins d'agitation de cette matière, communiquée au liquide, dépend de la groſſeur, de la figure, de la nature des ſurfaces, planes, convexes ou concaves, polies ou raboteuſes, & de la denſité des parties intégrantes du liquide. Si 10 perſonnes autour d'une table peuvent y être rangées de 3628800 manières différentes, ou faire 3628800 changemens d'ordre, on doit juger quelle prodigieuſe quantité de liquides différens pourront produire toutes les combinaiſons & toutes les variétés des circonſtances dont je viens de parler.

CHAPITRE IV.

D'où vient que les Liquides ne ſe diſſipent pas en un inſtant, & que leurs parties réſiſtent un peu à la déſunion; & comment ſe conſerve l'équilibre entre ces parties, la matière ſubtile qui les enviromne & qui les pénètre, & la matière ſubtile du dehors!

MAIS approfondiſſons un peu la méchanique des Liquides : ce n'eſt qu'à proportion qu'elle ſera plus connue, qu'on pourra mieux découvrir la véritable cauſe du changement qui leur arrive dans la Congélation.

Comment ſe peut-il que leurs parties intégrantes étant ſi agitées par la matière ſubtile, elle ne les diſſipe pas en un moment ? Voilà, par exemple, un verre à demi-plein d'eau : on voit bien que cette eau eſt retenue vers les côtés & au deſſous, par les parois du verre ; mais qu'eſt-ce qui la retient au deſſus ? Car par la définition des liquides, ils doivent toûjours avoir quelques parties intégrantes qui ſe meuvent vers le haut ; & telle partie, par exemple, étoit pouſſée dans cet inſtant vers les côtés, ou vers le fond du vaiſſeau, qui va tendre vers l'ouverture dans l'inſtant qui ſuit ? J'avoue que le poids de l'atmoſphère, ou la colonne d'air qui appuye ſur la ſurface de cette eau, la retient en partie ; mais le même liquide qui ſe conſerve dans l'air, ne ſe conſervant pas moins dans la machine Pneumatique après qu'on en a pompé l'air, il faut avoir recours à une autre cauſe.

D'où vient encore la viſcoſité qu'on remarque dans tous les liquides, plus ou moins ? cette diſpoſition que les gouttes qu'on en détache ont à ſe rejoindre, & cette légère réſiſtance qu'elles apportent à leur ſéparation, & par laquelle il ſemble qu'elles n'obéiſſent que par extenſion à la violence qui leur eſt faite ?

De plus, il n'y a point d'apparence que la matière ſubtile enfermée dans les interſtices

d'un liquide, non plus que les parties qui le compoſent, ſe meuve avec la même vîteſſe que la matière ſubtile extérieure ; de même à peu près que les vents qui pénètrent juſque dans le milieu d'une forêt, s'y trouvent conſidérablement affoiblis, & que les feuilles & tout ce qu'ils y rencontrent y eſt beaucoup moins agité qu'en raſe campagne. Or comment ſe conſerve l'équilibre dans ces différens degrés de vîteſſe des parties intégrantes d'un liquide, de la matière ſubtile du dedans & de la matière ſubtile du dehors !

J'avoue que ces difficultés m'ont paru embarraſſantes ; mais, ſi je ne me trompe, j'en ai trouvé le dénouement, & il eſt comme le lemme fondamental de tout ce qu'il y a de plus important à connoître pour la formation de la glace.

Premièrement, les parties d'un liquide ne ſont pas exemptes de peſanteur, ou d'*inertie*, & elles en ont, de même que tous les autres corps, à raiſon de leur maſſe & de leur matière propre : c'eſt-à-dire, que tout corps, indépendamment de la Peſanteur, imaginé ſur un plan horizontal infiniment poli, exige d'autant plus de force pour être mû avec une certaine vîteſſe, qu'il a plus de maſſe. C'eſt ce qu'on appelle *force d'inertie*, quelle qu'en ſoit la cauſe dont nous n'avons point à nous embarraſſer ici, non plus que de celle de la Peſanteur. Cette peſanteur ou cette inertie

eſt

eſt une des puiſſances qui aſſujétiſſent le liquide dans le vaſe où il eſt contenu.

Secondement, il ne faut pas croire que la matière ſubtile environne les parties intégrantes d'un liquide, de manière qu'elles ne ſe touchent jamais entr'elles, & ne gliſſent jamais les unes ſur les autres, ſelon qu'elles ont des ſurfaces plus ou moins polies, & qu'elles ſont mûes avec plus ou moins de vîteſſe. Il eſt très-probable au contraire que les parties intégrantes de la plûpart des liquides, tels que l'eau, l'huile, le vin, &c. ne ſe meuvent guère autrement. Or ces parties préſentent d'autant moins de ſurface à la matière ſubtile intérieure, qu'elles ſe touchent par plus d'endroits; & celles qui ſe trouvent vers les extrémités lui en préſentent encore moins que les autres, puiſqu'elles ont un côté vers le dehors: elles en préſentent donc davantage à la matière ſubtile extérieure; & comme cette matière a plus de liberté, & ſe meut avec plus de vîteſſe que l'intérieure, il eſt clair qu'elle doit avoir plus de force pour repouſſer les parties du liquide vers la maſſe totale, que la matière ſubtile intérieure n'en a pour les en ſéparer. Ainſi le liquide demeurera dans le vaiſſeau qui le contient, & de plus il aura quelque viſcoſité, ou réſiſtera un peu à la diviſion.

Pour les liquides fort ſpiritueux, dont les parties intégrantes ſont apparemment

preſque toutes noyées dans la matière ſubtile, ſans ſe toucher entr'elles que rarement, & par de très-petites ſurfaces, ils ſont en même temps & l'exception & la preuve de ce que je viens de dire, puiſqu'ils s'exhalent & ſe diſſipent bien-tôt d'eux-mêmes, ſi l'on ne bouche exactement le vaiſſeau qui les renferme.

Enfin, pour comprendre comment les parties des liquides ſe meuvent avec la matière ſubtile qu'ils contiennent, & comment l'équilibre ſe conſerve entr'elles, cette matière & la matière ſubtile extérieure, il faut obſerver que quoique chaque partie intégrante de certains liquides ſoit peut-être mille fois plus petite que le plus petit objet qu'on peut apercevoir avec le microſcope, il y a apparence que les plus groſſes molécules de la matière ſubtile ſont encore des millions de fois plus petites que ces parties. L'imagination ſe perd dans cette extrême petiteſſe; mais c'eſt aſſez que l'eſprit en aperçoive la poſſibilité dans l'idée de la matière, & qu'il en conclue la néceſſité par pluſieurs faits inconteſtables. Or cent de ces molécules, par exemple, qui viennent heurter en même temps, ſelon une même direction, & avec une égale vîteſſe, la partie intégrante d'un liquide un million de fois plus groſſe que chacune d'elles, ne lui communiquent pourtant que peu de leur vîteſſe;

parce que leurs cent petites masses sont contenues dix mille fois dans sa grosse masse, & qu'il faut pour y distribuer, par exemple, un degré de vîtesse, qu'elles fassent autant d'effort contr'elle, que pour en communiquer dix mille degrés à cent de leurs semblables: car 100 de masse multiplié par 10000 de vîtesse, & 1 de vîtesse multiplié par 1000000 de masse, produisent également de part & d'autre, 1000000 de mouvement, ou, comme on dit, de *moment*. Mais ces cent molécules de matière subtile sont bien-tôt suivies de cent autres, & ainsi de suite peut-être de cent millions: & comme celles qui viennent les dernières sur la partie du liquide, lui trouvent déjà une certaine quantité de mouvement que les premières lui ont communiqué, elles l'accélèrent toûjours de plus en plus; & à la fin elles lui donneroient autant de vîtesse qu'elles en ont elles-mêmes, si la matière subtile pouvoit toûjours couler sur cette partie avec la même liberté & selon la même direction. Mais la matière subtile se mouvant en divers sens dans le liquide, & la vîtesse que plusieurs millions de ses molécules peuvent avoir donnée à une partie intégrante du liquide, par une application continue & successive de cent en cent vers un certain côté, étant bien-tôt détruite ou retardée par plusieurs millions d'autres qui viennent choquer la même partie, selon des

directions différentes ou contraires ; il eſt évident que cette partie intégrante du liquide n'aura jamais le temps de parvenir à leur degré d'agitation, & qu'ainſi la ſupériorité de vîteſſe demeurera toûjours à la matière ſubtile. Cependant il n'eſt pas poſſible que cette vîteſſe ne ſoit fort diminuée par-là, & ne ſe trouve bien-tôt au deſſous de ce qu'elle eſt dans la matière ſubtile du dehors, qui rencontre bien moins d'obſtacles à ſes divers mouvemens ; obſtacles d'autant plus conſidérables, que la denſité du liquide eſt plus grande, que ſes parties intégrantes ſont plus groſſes, qu'elles ont plus de ſurface, & que ces ſurfaces ſont moins gliſſantes. Mais ce que la matière ſubtile perd de vîteſſe entre les interſtices d'un liquide, eſt compenſé par une plus grande tenſion du reſſort de ſes molécules, lequel augmente ſa force à meſure qu'il eſt plus comprimé : & c'eſt par-là que l'équilibre ſe conſerve entre les parties integrantes du liquide, la matière ſubtile intérieure, & la matière ſubtile du dehors. C'eſt par l'action & la réaction continuelles & réciproques entre les parties du liquide & la matière ſubtile qu'il contient, & entre ce tout & la matière ſubtile extérieure, que les vîteſſes, les compreſſions, & les maſſes multipliées de part & d'autre, donneront toûjours un produit égal de force ou de mouvement, & ce mouvement & cet équilibre

ſubſiſteront tant que le liquide perſévérera dans ſon état de liquidité.

On voit donc que les parties intégrantes d'un liquide ſont ce qui s'y meut avec le moins de vîteſſe ; enſuite c'eſt la matière ſubtile qui coule entr'elles, qui eſt plus agitée qu'elles ; & enfin vient la matière ſubtile extérieure, dont l'agitation paſſe celle de tout le reſte, & de la vîteſſe de laquelle on peut ſe faire une idée, par les effets qu'elle produit dans la poudre à canon, dans le tonnerre, & vrai-ſemblablement dans l'électricité.

CHAPITRE V.

Formation de la Glace.

QUE reſte-t-il maintenant pour comprendre de quelle manière ſe fait la congélation ? Voulez-vous faire de la Glace, c'eſt-à-dire, voulez-vous changer un corps liquide, tel que l'eau, en un corps ſolide ? Chaſſez une partie de la matière ſubtile qui coule entre ſes interſtices, diminuez ſon mouvement ou affoibliſſez ſon reſſort, en ſorte qu'elle ne puiſſe plus vaincre la réſiſtance des parties intégrantes du liquide ; c'eſt tout ce que fait le froid, & vous aurez de la Glace. Voulez-vous au contraire changer un corps très-dur, du verre ou du bronze, en un corps liquide, le dégeler ? Introduiſez une quan-

tité ſuffiſante de matière ſubtile dans ſes pores, ou augmentez aſſez le mouvement ou le reſſort de celle qui s'y trouve enfermée, pour qu'elle puiſſe ſéparer les parties qui s'uniſſent par leurs ſurfaces, ou débarraſſer celles qui s'entrelacent par leurs rameaux: vous ferez ce que fait la chaleur, & vous aurez un Liquide *.

Enfin, il ne s'agit plus, pour découvrir tout l'artifice de la Nature dans la formation de la Glace, que de comparer ce qui a été dit des Liquides, avec les changemens que le froid & le chaud peuvent faire ſur la cauſe de leur liquidité, je veux dire ſur la matière ſubtile.

CHAPITRE VI.

Idée générale du chaud & du froid, de l'été & de l'hiver, appliquée à la formation de la Glace.

LE chaud & le froid, comme les couleurs, les ſons, les ſaveurs & les odeurs, ſont ce qu'on appelle des *qualités ſenſibles*, que l'on ne confond que trop ſouvent avec les ſenſations que les corps doués de ces qualités excitent en nous. Il ne faut cependant qu'avoir un peu réfléchi ſur ſoi-même, &

* *Tum Glacies æris flammâ devicta liqueſcit.* Lucret. lib. 1.

ſur tout ce qui nous environne, pour être pleinement convaincu qu'il n'exiſte rien dans les corps, en tant que tels, qui reſſemble le moins du monde à ce que nous ſentons lorſqu'ils frappent nos ſens, ſoit immédiatement, ſoit par le moyen de quelque fluide qui ſe trouve entre eux & nous. Configuration de parties, mouvement ou repos, vibrations communiquées au fluide ambiant, c'eſt tout ce qui appartient aux corps prétendus chauds ou froids, lumineux, colorés, ou ſonores. Les parties *calorifiques* ou *frigorifiques* ſont autant de chimères enfantées par l'imagination, dès qu'on les fait conſiſter en quelque choſe de plus que ce que nous venons de dire. Le froid abſolu eſt un être purement négatif, comme le repos, ou l'obſcurité ; & le froid en général n'eſt qu'une moindre chaleur ou un moindre mouvement de la part de la matière ſubtile ou du fluide quelconque qui conſtitue le feu ou la chaleur. Ainſi l'on peut dire que les glaces d'Italie ſont chaudes, par rapport aux glaces du Groenland, parce qu'elles ſont moins froides, & en quelque ſorte moins glace : car comme il eſt démontré qu'il n'y a pas de repos abſolu dans la Nature, il l'eſt de même qu'il n'y a pas de froid abſolu. C'eſt à cette idée ſimple du chaud & du froid qu'on réduira toutes celles qu'on peut ſe former ſur ce

ſujet, lorſqu'on voudra l'approfondir, quelqu'opinion qu'on embraſſe d'ailleurs ſur la cauſe phyſique de la chaleur, & ſur la matière du feu élémentaire, pourvû que cette opinion ſoit intelligible.

Le Soleil peut être regardé en ce ſens comme la ſource la plus féconde, comme le grand réſervoir de la chaleur des Planètes qui circulent autour de lui, & ſur-tout de la partie extérieure qu'elles préſentent à ſes rayons : quoique ces planètes puiſſent contenir un feu central, ou intérieur quelconque, un fonds de chaleur indépendant de la viciſſitude des ſaiſons, & qui ſurpaſſe même de beaucoup la chaleur actuellement communiquée par le Soleil ; ainſi que pluſieurs phénomènes nous l'indiquent, & que nous l'expliquerons dans la ſuite. Mais en général, ce ſont les rayons du Soleil qui produiſent cette alternative de chaud & de froid que nous éprouvons ſelon diverſes circonſtances, & principalement à l'occaſion des différentes ſaiſons de l'année.

Or la chaleur extérieure qui nous vient du Soleil peut être affoiblie de trois manières ; ou par l'éloignement de ſa ſource, ou par la poſition oblique & déſavantageuſe des ſurfaces qui reçoivent ſes rayons, ou enfin, par l'interpoſition des vapeurs & d'une atmoſphère épaiſſe & profonde qui nous intercepte en partie ſes rayons.

C'eſt de la première manière qu'apparemment il fait moins chaud ſur la planète de Saturne que ſur notre Globe ; parce que cette planète eſt environ dix fois auſſi éloignée du Soleil que nous : ce qui, toutes choſes d'ailleurs égales, doit procurer à Saturne cent fois moins de chaleur qu'à la Terre ; ſavoir, en raiſon du quarré de ſa diſtance au Soleil. Je dis apparemment, & toutes choſes d'ailleurs égales ; parce que ſi la chaleur centrale ou intérieure quelconque y a lieu, comme nous le démontrerons de la Terre, & qu'elle y ſoit, par exemple, en raiſon de la maſſe, ou de la grandeur de la planète, ou en tel autre rapport, il eſt très-poſſible qu'il faſſe autant ou plus de chaud ſur la ſurface de Saturne, que ſur celle de la Terre. Ainſi ce n'eſt pas ſans reſtriction qu'il faut entendre ce qu'a dit M. Newton, que *ſi notre Globe étoit porté à la place de celui de Saturne, notre eau s'y glaceroit, & qu'à la place de celui de Mercure, elle s'exhaleroit en vapeurs* *.

Mais c'eſt de la ſeconde & de la troiſième manière, qu'en général il fait moins chaud ou plus froid dans nos climats en hiver qu'en été, & dans les Zones glaciales, que dans les Zones tempérées & torride ; parce que les rayons du Soleil ſont reçus plus obliquement ſur la terre en hiver qu'en été, &

* Newt. *Princip. l. 3. pr. 8. cor. 4.*

ſur les zones glaciales ou tempérées, que ſur la zone torride. Par-là il en tombe d'autant moins ſur le terrein, en raiſon des ſinus de leur obliquité, & ceux qui y tombent y font un effort d'autant moindre ; ce qui donne la raiſon doublée de ces ſinus. D'où il ſuit, que l'action des rayons ſolaires ſur un plan horizontal, ou ſur la ſurface ſuppoſée plane d'un pays, à un inſtant donné, par exemple, à midi, eſt proportionnelle au quarré des ſinus du complément de latitude de ce pays.

Cette obliquité eſt cauſe encore que les rayons ſolaires ſont interceptés en partie par une plus grande quantité d'air. Car comme une aiguille qu'on enfonceroit obliquement dans une orange, auroit plus d'écorce à percer, que celle qu'on y enfonceroit perpendiculairement & vis-à-vis du centre ; de même le Soleil regardant les zones glaciales & les lieux qui ont l'hiver, plus obliquement que la zone torride & les lieux qui ont l'été, ſes rayons ont à traverſer beaucoup plus d'air dans l'atmoſphère, & ils ſont plus affoiblis par cette cauſe, & par la précédente, que fortifiés par la première ou par le plus de proximité ; quoique ce plus de proximité aille à environ la trentième partie du plus grand éloignement, c'eſt-à-dire, à près d'un million de lieues : ce qui fait une diſtance près de mille fois plus

grande, que celle qu'il y a de la zone torride aux zones glaciales.

Avec ces idées du chaud & du froid, remettons-nous devant les yeux un liquide tel que je l'ai dépeint ci-dessus. Supposons-le d'abord dans un lieu assez chaud, pour lui conserver sa liquidité ou le mouvement de ses parties intégrantes; & souvenons-nous de l'équilibre que la matière subtile engagée entre leurs intervalles, conserve avec elles & avec la matière subtile extérieure. Imaginons ensuite que le lieu où est ce liquide vienne à se refroidir peu à peu, jusqu'au degré nécessaire pour la congélation. Le mouvement de la matière subtile extérieure diminuera donc aussi peu à peu, & par conséquent elle ne sauroit se trouver en équilibre avec celle qui est dans le liquide, & qui communique avec elle par une infinité d'issues & de pores, sans que celle-ci ne diminue, à proportion de sa vîtesse & de son ressort. Car dès que la matière subtile intérieure sera moins comprimée par celle du dehors, & qu'elle deviendra la plus forte, elle doit s'échapper du côté où elle trouve le moins de résistance, c'est-à-dire, vers les extrémités & hors du liquide.

Il arrive quelque chose de tout-à-fait semblable, lorsqu'après avoir enfermé de l'eau ordinaire dans la machine pneuma-

tique, on vient à en pomper l'air. Car à chaque coup de pompe, l'air qui appuyoit ſur la ſurface de l'eau ſe trouvant plus rare & plus lâche, parce qu'il eſt en moindre quantité, il comprime d'autant moins l'eau & l'air qu'elle contient entre ſes interſtices, c'eſt pourquoi celui-ci ſe dégage par ſon élaſticité, il ſort de l'eau pour paſſer dans le récipient, où il eſt beaucoup plus au large; & ſa ſortie eſt viſible, par l'ébullition qu'elle cauſe à la ſurface ſupérieure de l'eau.

Tout de même la matière ſubtile extérieure venant à diminuer de vîteſſe & de reſſort, il faut qu'une partie de celle qui étoit renfermée dans le liquide en ſorte; & cette effuſion doit continuer, juſqu'à ce que le nombre, la tenſion & la vîteſſe des molécules de celle qui y reſte, ſoient diminuées au point néceſſaire, pour demeurer en équilibre avec la matière ſubtile du dehors. Or les parties intégrantes du liquide ne tenant leur mouvement que de la matière ſubtile qui les environne, il eſt clair que leur mouvement doit diminuer avec celui de cette matière. De-là naiſſent de plus grands frottemens entre leurs ſurfaces; parce que ces parties ſe rapprochent d'autant plus, ou deviennent d'autant plus denſes, que les molécules qui doivent les tenir ſéparées, ou les faire gliſſer les unes ſur les

autres, ont moins de vîteſſe & de reſſort. Ainſi le liquide diminuera un peu de volume, & commencera à s'engourdir & à être moins coulant. Mais ſi le froid augmente toûjours, les frottemens & la denſité augmenteront avec lui, parce que l'agitation & le reſſort de la matière ſubtile intérieure, qui devoit les vaincre, diminuent; & il y aura bien-tôt pluſieurs des parties intégrantes du liquide qui s'appliqueront les unes ſur les autres, qui s'accrocheront ou s'entrelaceront, ſi elles ſont crochues ou rameuſes, ſans qu'elles puiſſent plus être ſéparées par le choc, ou par le reſſort des molécules affoiblies qui viennent encore les heurter. Les premiers aſſemblages de ces parties ſe trouveront vers les bords du liquide, & vers la ſurface; car c'eſt-là que l'effuſion de la matière ſubtile intérieure, & l'affoibliſſement de ſon reſſort doivent commencer: mais ſi l'augmentation du froid continue, ou ſeulement ſi le froid perſévère dans un certain degré, à ces parties aſſemblées il s'en joindra bien-tôt d'autres, ſavoir, celles qui en ſeront les plus voiſines, à celles-ci d'autres encore, & enfin toute la maſſe du liquide demeurera fixe & immobile, elle ſera dure, elle occupera moins d'eſpace, en un mot elle ſera glacée.

Ce n'eſt pas ici le lieu de parler des exceptions qu'il pourroit y avoir dans ces

circonſtances à l'égard de certains liquides ; par exemple, de l'augmentation de volume dans la congélation de l'eau : elles dépendent, comme je le ferai voir dans la ſeconde partie, de certaines cauſes particulières, & je ne traite ici que de ce qui convient au plus grand nombre de liquides. J'enviſage préſentement la formation de la Glace de la manière la plus générale qu'il m'eſt poſſible, & que je crois auſſi la plus importante & la plus curieuſe.

CHAPITRE VII.

Par quels degrés on peut imaginer que la matière ſubtile diminue d'activité dans un liquide qui ſe gèle.

REMARQUONS pour une plus parfaite intelligence de la formation de la Glace, qu'il s'en faut bien que la matière ſubtile enfermée dans le liquide, & que nous avons remarqué ci-deſſus devoir être beaucoup moins agitée que celle du dehors, conſerve toûjours un même rapport d'agitation & de reſſort avec la matière ſubtile extérieure, lorſque le mouvement de celle-ci diminue. Car ſi l'on veut y regarder de près, on verra que la diminution de vîteſſe de la matière ſubtile intérieure, doit

être avec la diminution de vîteſſe de l'extérieure, en raiſon compoſée, 1° de la diminution de vîteſſe de cette dernière; 2° de l'augmentation des ſurfaces des parties intégrantes du liquide, c'eſt-à-dire, du plus grand nombre de ſurfaces qui viennent à ſe toucher & à gliſſer immédiatement les unes ſur les autres, à meſure que l'agitation diminue; 3° de la plus grande denſité ou preſſion, laquelle naît de l'affoibliſſement de vîteſſe & de reſſort des molécules de la matière ſubtile intérieure, ſelon que les parties intégrantes du liquide s'approchent davantage & ſe touchent par plus d'endroits.

C'eſt-à-dire, que ſi la matière ſubtile du dehors diminue de 4 degrés de vîteſſe, par exemple, celle du dedans diminuera beaucoup plus que de 4 degrés. Le détail d'un cas particulier va rendre ſenſible la propoſition générale.

Suppoſons que le froid augmente d'un degré à chaque minute de temps, c'eſt-à-dire, que l'agitation de la matière ſubtile du lieu où eſt le liquide diminue à chaque minute, d'un degré. Cette diminution doit bien-tôt ſe communiquer à la matière ſubtile qui coule entre les interſtices du liquide, par les raiſons qu'on en a vûes. Mais puiſque la diminution de vîteſſe de cette matière ne ſauroit arriver, ſans que les parties intégrantes du liquide ne s'approchent

un peu & ne se touchent par plus de surfaces qu'elles ne faisoient auparavant, en un mot, sans qu'elles ne glissent les unes sur les autres avec plus de difficulté; cette même difficulté, ces nouveaux obstacles & ces nouveaux frottemens sont une nouvelle occasion de diminution à la vîtesse de la matière subtile intérieure : car c'est la même chose que si elle avoit à vaincre de plus grandes masses & à les mettre en mouvement. Ainsi par la loi, qu'un corps perd de sa vîtesse selon qu'il en communique, l'augmentation de la masse sur laquelle la matière subtile intérieure auroit à distribuer une certaine vîtesse, feroit la diminution de sa propre vîtesse. Donc si l'augmentation des frottemens par l'augmentation des surfaces, est devenue égale, par exemple, à une augmentation de 2 de masse, il faudra multiplier la diminution précédente de 1 degré de vîtesse, par 2; ce qui fait 2, & voilà la vîtesse de la matière subtile intérieure diminuée de 2 degrés, tandis que la vîtesse de celle du dehors ne vient de diminuer que de 1. Mais comme la difficulté des mouvemens du liquide augmente, non seulement en tant que ses parties se touchent par plus de surfaces, mais aussi selon que leurs surfaces sont plus pressées les unes contre les autres, c'est-à-dire, selon que la densité du liquide est plus grande; si l'on

égale la difficulté qui naît de cette augmentation de denſité à 3, il faudra encore multiplier la diminution précédente qui valoit 2, par 3; ce qui fait 6. De ſorte que la vîteſſe ou l'agitation des molécules de la matière ſubtile intérieure du liquide aura diminué de 6 degrés, tandis que l'agitation de celle du dehors n'a diminué que d'un degré.

Pour appliquer un pareil calcul à la ſeconde minute, il faut prendre garde que les augmentations de ſurface & de denſité doivent croître à proportion des diminutions précédentes de la vîteſſe: ainſi après avoir compté 2 d'augmentation de ſurface, & 3 d'augmentation de denſité pendant la première minute, il faudra peut-être compter 3 de ſurface, & 4 de denſité pour la ſeconde minute; ce qui donne douze degrés de diminution de vîteſſe pour cette ſeconde minute. C'eſt pourquoi l'on peut concevoir, par manière d'exemple, que les diminutions de chaque minute ſuivent quelque progreſſion ſemblable, 6, 12, 24, 48, &c. & qu'après la quatrième minute, l'agitation de la matière ſubtile extérieure n'ayant diminué que de 4 degrés, celle de la matière ſubtile intérieure aura diminué de 6, plus 12, plus 24, plus 48, c'eſt-à-dire, de 90 degrés.

On voit par-là combien la matière ſubtile du dehors, dans cette interruption conti-

nue & succeſſive de l'équilibre avec celle du dedans, doit gagner promptement des forces pour comprimer les parties intégrantes du liquide dont elle enveloppe toûjours de plus en plus la maſſe totale, à meſure qu'elles ſe touchent davantage intérieurement. C'eſt par-là auſſi que nous expliquerons en ſon lieu la promptitude avec laquelle la plûpart des liquides ſe glacent, en comparaiſon de la lenteur avec laquelle ils ſe dégèlent. La diminution d'activité & de reſſort de la matière ſubtile dans un liquide qui ſe gèle, y produit encore d'autres effets, tels que le dérangement des parties & des directions différentes entre ces parties, &c. dont nous parlerons dans la ſuite, après avoir établi les faits & les principes d'où l'on peut les déduire.

CHAPITRE VIII.

Des cauſes accidentelles & locales de la Congélation. Et premièrement du Nitre, & des autres ſels contenus dans les terres & exaltés dans l'air.

JE ne vois pas de véritable cauſe, de cauſe immédiate de la congélation des liquides, autre que celle que nous venons de donner dans les chapitres précédens, la

diminution de mouvement, de quantité ou de reſſort de la matière ſubtile contenue dans les liquides. Toutes les autres n'y contribuent qu'en tant qu'elles occaſionnent celle-ci, & elles ne ſont, à proprement parler, que des cauſes moyennes & accidentelles. Il y en a donc autant de ces dernières, qu'il peut y avoir de manières différentes d'affoiblir l'activité de la matière ſubtile. Je ne toucherai que les plus générales.

Nous en avons déjà vû ci-deſſus trois de ce genre; ſavoir, l'éloignement du Soleil, l'obliquité de ſes rayons, la quantité d'air ou de vapeurs qu'ils peuvent avoir à traverſer. Mais il y en a encore quelques autres plus ou moins fréquentes, ou plus étendües, ſelon le climat, le terrein, & quelques autres circonſtances.

Je mets de ce nombre le Nitre ſubtil qui ſe répand quelquefois dans l'air, & qui y cauſe, même au milieu de l'été, un froid ſi violent, que les rivières & les lacs en ſont glacés : car rien n'eſt ſi ordinaire, que de voir arriver ces promptes gelées dans les pays dont le terrein contient beaucoup de nitre & de ſalpêtre; comme, par exemple à la Chine, & dans la Tartarie Chinoiſe. Il y a dans le royaume de la Chine telle province auſſi proche de l'Equateur que le Portugal & la Sicile, où il ne faut que creuſer la terre à trois ou quatre pieds de

profondeur, pour en retirer *des mottes toutes gelées, & des monceaux de glace*, dans les mois de Juillet & d'Août. *(a)*

La plûpart des ſels foſſiles, & ſur-tout le ſel ammoniac, lorſqu'il s'en trouve dans les terres, produiſent de ſemblables effets. M. de Tournefort rapporte, qu'étant autour d'Erzerom ville capitale de l'Arménie, il y vit fréquemment de la glace, & y éprouva un très-grand froid, tout proche du ſolſtice d'été. *(b) L'eau*, dit-il, *dans laquelle nous avions mis nos plantes, pour les conſerver, & pour les décrire le lendemain*, (20me Juin) *ſe gela la nuit de l'épaiſſeur de deux lignes, quoiqu'elle fût à couvert dans un baſſin de bois. Je crois*, ajoûte-t-il, *qu'outre le ſel foſſile, qui n'eſt pas rare dans ces quartiers, la terre eſt pleine de ſel ammoniac, qui entretient les neiges pendant dix mois de l'année ſur des collines à peu près ſemblables au Mont-Valérien.* Où il faut remarquer qu'Erzerom n'eſt tout au plus qu'au 40me degré de latitude.

Ce qui ſe paſſe en grand dans ces provinces de la Chine & de l'Arménie, peut

(a) Dans la province de *Leaotum*, entre les 38 & 42 degrés de Latitude. *Voyage de l'Empereur de la Chine dans la Tartarie occidentale en 1683.* Recueil des Voyages au Nord, *T. III, p. 329.* Voyez ſur la Tartarie Chinoiſe, l'*Atlas Sinenſ.* du P. Martini.

(b) Voyage du Levant. Lett. XVIII à M. de Pontchartrain.

être observé en petit dans les endroits où l'on fait *torréfier* la mine de cuivre. La quantité prodigieuse de corpuscules salins vitrioliques qui s'en élèvent avec la fumée, & qui se répandent dans l'air à une ou deux lieues à la ronde, y produit un froid extrême, que les Mineurs & les habitans du pays ne manquent pas d'attribuer à cette cause. C'est ce qui m'a été particulièrement assuré des mines de Fahlun * ou de Coperberg en Suède, dans la Dalécarlie, pays d'ailleurs très-froid par lui-même, mais où cette circonstance locale augmente sensiblement les rigueurs du climat.

La fameuse Grotte de Franche-Comté, à cinq lieues de Besançon, vulgairement appellée *la Glacière*, nous fournit un autre exemple de ces cas particuliers. En été il y fait un froid insupportable; le fond en est couvert de 3, 4 à 5 pieds de glace, selon la quantité d'eau qui y est tombée de la voûte, & le dégel n'y commence que vers le mois de Septembre. M. Billerez Professeur d'Anatomie & de Botanique à Besançon, qui envoya une relation de cette grotte à l'Académie des Sciences, en ayant examiné le dedans & les environs, en donne pour raison, *que les terres du voisinage, & sur-tout*

* Par M. Camus, qui le tenoit des officiers de ces Mines, dans son voyage à Torno, pour la mesure de la Terre.

celles du deſſus de la voûte, ſont pleines d'un ſel nitreux, ou d'un ſel ammoniac naturel. Ces ſels, dit-il, *mis en mouvement par la chaleur de l'été, ſe mêlant plus facilement avec les eaux qui coulent par les terres & par les fentes du rocher, pénètrent juſque dans la grotte; ce mélange les glace préciſément de la même manière que ſe font les glaces artificielles, & ce qu'eſt un petit vaſe dans cette opération, la grotte l'eſt en grand**. L'Académie a reçu depuis une deſcription de cette grotte beaucoup plus exacte, plus détaillée, & accompagnée de remarques curieuſes, par M. Coſſigny, Ingénieur en chef à Beſançon, & Correſpondant de la Compagnie. Il y a, ſans doute, beaucoup à rabattre de tout ce qui ſe dit de merveilleux de cette grotte; mais l'obſervation & la conjecture de M. Billerez ſubſiſtent quant au fonds, & à l'uſage que nous en faiſons préſentement.

Sa comparaiſon des glaces artificielles, qu'on fait par le moyen des ſels, eſt très-juſte, & m'oblige, en l'adoptant, à anticiper ici ſur ce que j'aurai à dire de ces ſortes de glaces. On y verra que le ſel ammoniac, le ſel marin & le ſalpêtre refroidiſſent non ſeulement la glace dont ils occaſionnent la fonte, mais auſſi l'eau pure où ils ſont mêlés & diſſous, & qu'en certains cas ils la refroidiſſent bien au delà du terme de la congé-

* Hiſt. de l'Acad. 1712. *p.* 23.

lation, quoiqu'ils l'empêchent de ſe geler. Or on doit concevoir que pluſieurs molécules de terre humides, pluſieurs petits amas ou filets d'eau imprégnés de ces ſels, ſe trouvant extrêmement refroidis dans la terre par ces ſels, comme le mélange de ſel & de glace, employé aux glaces artificielles, refroidiſſent à peu près de même toutes les particules d'eau pure qu'ils entourent, & les congèlent. Et voilà très-vrai-ſemblablement comment dans des climats tempérés & pendant que la chaleur ſe fait ſentir dans tous les lieux d'alentour, ſe forment de proche en proche *ces mottes toutes gelées, & ces monceaux de glace,* qu'on retire de la terre dans les pays où elle contient beaucoup de ces ſels.

Quant aux corpuſcules ſalins, nitreux & ammoniacaux répandus dans l'air, ſoit qu'ils s'y exaltent du terrein même du pays, où qu'ils y ſoient apportés des pays voiſins par les vents, ils doivent auſſi refroidir l'air, non ſeulement parce que la froideur du terrein s'y communique en partie, que la région inférieure de l'atmoſphère eſt preſque toûjours plus ou moins chargée d'eau ou d'humidité, & que c'eſt, comme nous venons de dire, une des principales propriétés des ſels, de refroidir l'eau où ils ſont mêlés, mais encore par la raiſon qui ſuit.

L'air eſt, ſelon toute apparence, un fluide branchu & rameux, & l'atmoſphère, comme

un composé *de petites lames à ressort, soit spirales, soit de telle autre figure qu'on voudra, la plus propre* à leur donner du ressort *; car c'est de leur ressort qu'on peut conjecturer la manière dont elles sont faites.

Imaginez au contraire les parties intégrantes de la plûpart des sels, comme de petites pyramides, droites, roides & aigues, comme des aiguilles anguleuses, ou des lancettes tranchantes. On les juge ainsi par le picottement qu'ils excitent sur les fibres du palais, & sur les papilles nerveuses de la langue, par les esprits qu'on en retire, qui sont de forts & prompts dissolvans, par les figures qu'ils affectent dans leurs cristallisations, &, si l'on en croyoit quelques Observateurs, par la figure même qu'on a vû qu'ils avoient, par le moyen du microscope.

Cela posé, imaginons qu'une grande quantité de corpuscules salins viennent à s'exalter, & à se répandre dans l'air, soit par la chaleur du Soleil, soit par telle autre cause qu'on voudra. Ce seront tout autant de clous ou de petits dards qui s'enfonceront & s'embarrasseront entre les rameaux de l'air ou entre ses lames spirales; & réciproquement, ces rameaux & ces lames étant embarrassées par eux, se joindront plusieurs ensemble, feront des pelotons plus gros & plus serrés qu'auparavant, & cet air &

* Hist. de l'Acad. des Sc. 1702, *p.* 2, *&c.*

ces

ces corpuſcules nitreux formeront un tout moins fluide & plus denſe. C'eſt ainſi que l'eſprit de nitre, ou ſeulement la fumée qu'il produit dans certaines diſſolutions, fige l'huile d'olive, & la réduit en ſubſtance de graiſſe ou de ſuif; parce que vraiſemblablement les parties de l'huile ſont branchues & rameuſes comme celles de l'air. Or que l'activité communiquée par le ſoleil à la matière ſubtile, ſoit émouſſée par une plus grande épaiſſeur d'atmoſphère à traverſer, comme il arrive en hiver, ou par un aſſemblage d'air & d'autres corps qui forment un tout plus denſe, moins diviſible, & plus propre à éteindre le mouvement du fluide qui ſe meut entre ſes interſtices & qui le pénètre; que ce ſoit, dis-je, par telle de ces deux cauſes qu'on voudra, que la matière ſubtile ſe trouve affoiblie, c'eſt, quant à l'effet, une ſeule & même choſe. De l'affoibliſſement de la matière ſubtile ſuivra la congélation des rivières, des lacs, & des veines d'eau qui coulent près de la ſuperficie de la terre, ou de l'eau quelconque qui s'y eſt introduite.

Il eſt vrai qu'à l'égard de ces glaces qu'on trouve ſous terre en été, dans quelques provinces de la Chine, & dans pluſieurs autres pays encore plus méridionaux, il y a apparence qu'elles ſubſiſtent long-temps après que celles qui étoient expoſées à l'air libre

ſont fondues; car cet air y peut moins pénétrer, & lorſqu'il y pénètre, ce n'eſt qu'après s'être chargé d'une très-grande quantité de corpuſcules nitreux ou de tels autres ſels, en paſſant au travers d'une terre où ils abondent. Il en eſt de même des vapeurs & des exhalaiſons, qui pourroient fondre ces glaces : le nitre ne les embarraſſe pas moins, & conſéquemment toute la matière ſubtile ambiante en eſt engourdie. Il doit même arriver ſouvent dans ces endroits, que les glaces ſe fondent plûtôt en hiver qu'en été : car dans l'été la chaleur du Soleil volatiliſe le nitre, & le met en état de s'incorporer & de s'embarraſſer avec l'air & avec les exhalaiſons de la terre, au lieu qu'en hiver ſes pointes s'affaiſſent plus aiſément les unes ſur les autres, & perdent par-là le degré d'activité néceſſaire pour pénétrer l'air & les exhalaiſons. Ainſi un froid modéré doit être plus propre à fondre les glaces ſoûterraines dans les pays abondans en nitre, ou en ſel ammoniac, qu'une extrême chaleur.

CHAPITRE IX.

Seconde cauſe accidentelle de la Congélation, le Vent.

DANS un temps froid & qui tend à la gelée, le vent ſec contribue auſſi beaucoup à la Congélation : car l'air qui ſe trouve en repos ſur la ſurface d'un liquide, prend à peu près le degré de froideur de ce liquide. Or avant la congélation, ce liquide n'eſt pas au degré de froideur de l'air qui doit le glacer : donc l'air qui touche ſa ſurface, & qui ne peut manquer de participer à ſa température, n'eſt pas encore au degré de la congélation, & par conſéquent il y laiſſe alors à la matière ſubtile plus de liberté de ſe mouvoir, que lorſque par la communication d'un air plus froid il ſera devenu lui-même plus froid ou plus denſe. Ainſi la matière ſubtile qui coule entre les interſtices du liquide, & dont le mouvement eſt toûjours proportionné au mouvement de celle qui l'entoure immédiatement, n'eſt pas encore aſſez affoiblie pour permettre la congélation. Mais ſi l'on hâte la communication de la froideur à la ſurface du liquide, en chaſſant violemment l'air qui la touche, & en mettant à ſa place un air plus froid & plus denſe, & tel qu'il le faut pour procurer

la congélation, on affoiblira la matière ſubtile extérieure qui touche le liquide, & par ce même moyen, celle qui y eſt renfermée, laquelle doit toûjours diminuer de mouvement juſqu'à ce qu'elle ſoit abaiſſée au degré néceſſaire pour demeurer en équilibre avec la première. Cependant cet affoibliſſement n'iroit pas encore au degré de la congélation, ſi le nouvel air reſtoit en repos dans cet état; car il acquerroit & il retiendroit pendant quelque temps un peu de la chaleur qui étoit auparavant dans le liquide, & le tout, c'eſt-à-dire, ce nouvel air, la matière ſubtile qui y eſt engagée, & celle qui eſt dans le liquide, ſe mettroit à un degré moyen de froideur qui participeroit de la froideur précédente du liquide, & de la froideur répandue aux environs dans l'air extérieur. Mais ſi l'on continue à chaque inſtant de chaſſer l'air de deſſus la ſurface du liquide, & qu'on y en ſubſtitue toûjours un qui ſoit au degré de froideur néceſſaire pour la congélation, il eſt évident qu'à la fin il communiquera au liquide ſon degré de froideur, ou diminuera ſon mouvement juſqu'à la congélation.

Or c'eſt-là ce que fait le vent, il emporte continuellement l'air chaud ou moins froid qui étoit ſur la ſurface du liquide, pour ſe mettre à ſa place, & c'eſt par-là qu'il rend la congélation plus prompte. Ce n'eſt qu'en

chaſſant ainſi de deſſus notre peau une petite atmoſphère d'air échauffé par la chaleur du ſang & par la tranſpiration, qu'un éventail excite en nous le ſentiment de fraîcheur.

Bien des gens s'imaginent au contraire, que le vent eſt un obſtacle à la formation de la glace ; & il eſt vrai que lorſque le vent a beaucoup de priſe ſur une grande ſurface d'eau, comme ſur les fleuves, ſur les lacs & ſur les mers, il les empêche quelquefois de geler, en tant qu'il les agite, qu'il ôte à pluſieurs parties intégrantes du liquide le temps de s'unir, & qu'il ſépare par des ſecouſſes continuelles celles qui s'étoient déjà unies, & qui alloient bientôt former une croûte ſenſible de glace. Mais il eſt toûjours certain en général, que le vent doit accélérer la congélation, par la raiſon que nous en avons donnée.

Pour s'en convaincre, il n'y a qu'à en faire l'expérience en même temps en deux lieux différens, & l'on verra combien l'eau expoſée à un vent ſec, dans un vaiſſeau médiocrement large, ſera plus promptement gelée que celle qu'on aura miſe à l'abri du vent, quoique le froid y ſoit le même, à ne conſidérer que la température actuelle & générale de l'air. Cela va quelquefois au point, que la même eau tranſportée d'une expoſition tranquille où elle étoit depuis quelques heures ſans geler, à une expoſi-

tion contraire, se glace dans la minute & presque dans l'instant.

Du reste on voit bien, que quand les vents ont passé par des montagnes couvertes de neiges, ou sur des terres fort nitreuses, ils en sont d'autant plus propres à produire & à hâter la congélation, & qu'ils deviennent alors une cause compliquée avec les précédentes.

On allègue en faveur de l'opinion commune sur les effets du vent par rapport à la congélation, que non-seulement le thermomètre ne baisse pas au vent, mais encore qu'il hausse, lorsqu'on en souffle la boule avec un soufflet.

Mais le thermomètre ne baisse pas au vent (du moins cela n'est-il guère sensible) parce que le verre ne permettant point le passage au nouvel air que le vent apporte, & le vent n'étant point par lui-même plus froid que l'air calme, la liqueur y est toûjours exposée au même degré de froid, tant que l'instrument est dans un air également froid, sans que l'agitation ou le calme y causent aucune altération. Et il hausse sensiblement lorsqu'on pousse de l'air contre la boule avec un soufflet *; parce que cet air est réellement plus chaud que celui qui étoit auparavant autour du thermomètre; soit à cause du lieu d'où est pris ordinai-

* Mém. de l'Acad. 1710, *p.* 544. 546.

rement le soufflet, soit à cause de la double agitation que reçoit cet air, par l'attraction & par la compression du soufflet, où il entre par une soupape, & d'où il sort par un tuyau étroit, & avec violence; car il faut soigneusement distinguer cette agitation & ce mouvement, pour ainsi dire, intrinsèque de l'air par l'action du soufflet, du mouvement général du vent qui n'est que le transport continu d'une grande masse d'air ou d'une partie de l'atmosphère d'un lieu à un autre.

Nous verrons encore mieux & sous un autre aspect dans la seconde partie, comment un air agité peut hâter la congélation des liquides, & un air tranquille la retarder.

CHAPITRE X.

Troisième cause accidentelle de la Congélation & des Gelées; la suppression ou la diminution des vapeurs chaudes qui s'élèvent du sein de la Terre.

VOICI une nouvelle cause de la congélation, & sur-tout des grandes gelées, moins visible, & par-là moins connue que les précédentes; mais, à mon avis, aussi réelle, aussi fréquente, plus efficace & plus générale, parce qu'elle tient au principe

intime & permanent de la ſtructure du globe terreſtre.

La ſuppoſition d'un ſouffle central, ou de vapeurs chaudes qui s'élèvent continuellement du fond de la terre, étant admiſe, il eſt évident qu'on ne ſauroit les ſupprimer en tout ou en partie, ſans que la chaleur qui en réſultoit ſur la terre & dans l'air, n'en ſoit diminuée, ou, ce qui revient au même, ſans que le froid n'en ſoit augmenté. Si l'on ajoûte ce froid à celui que comportoit actuellement le climat, par la cauſe générale de la viciſſitude des ſaiſons, & par les circonſtances locales, il produira néceſſairement des effets proportionnels à ſon intenſité; & ſi cette intenſité eſt telle par elle-même, ou par ſa complication avec tout le reſte, qu'elle égale ou qu'elle ſurpaſſe dans ſon réſultat, le degré de froid de la congélation, il n'eſt pas moins évident que la gelée doit s'en enſuivre.

Il ne s'agit donc que de ſavoir ſur quelles preuves, ou ſur quel principe je fonde cette ſuppoſition.

CHAPITRE XI.

Du Feu central ou intérieur de la Terre; & des principaux phénomènes qui en dépendent.

PLUSIEURS auteurs très-éclairés, tant anciens que modernes, ont reconnu un feu central dans la terre, ou une chaleur quelconque très-profonde. Les uns & les autres en ont déduit l'explication de quantité de phénomènes; mais aucun, que je sache, n'en a établi l'existence & les effets de la manière qui suit.

Je donnai en 1719 à l'Académie des Sciences un Mémoire qui fut imprimé parmi ceux de la même année, & qui a pour sujet *la cause générale du froid en hiver, & de la chaleur en été.* Il est démontré dans ce Mémoire, que la chaleur de l'été, dans le climat de Paris, au solstice d'été, en tant qu'elle résulte de cette cause, c'est-à-dire, de l'action du Soleil sur la terre, est à la chaleur de l'hiver, au solstice d'hiver, tout au moins comme 66 est à 1.

Par les observations & les expériences immédiates de M. Amontons, sur la chaleur de l'été & de l'hiver dans le même climat, & aux solstices, la première est à la seconde comme 60 est à 51 $\frac{1}{2}$, ces nombres expri-

mant des pouces de ſon thermomètre, ou à peu près, en raiſon de 8 à 7. C'eſt-à-dire, *que le chaud qu'il fait aux rayons du ſoleil à midi dans le ſolſtice d'été, ne differe du froid qu'il fait quand l'eau ſe glace, qu'environ comme 60 differe de 51 $\frac{1}{2}$, ou 8 de 7, & que la même matière qui produit par ſon agitation les plus grandes chaleurs & les plus inſupportables de notre climat, ayant alors 8 degrés de mouvement, elle en a encore 7, lorſque nous ſentons un froid extrême* *.

Comment accorder des réſultats ſi différens, le rapport de 66 à 1 d'un côté, & celui de 8 à 7 ſeulement de l'autre !

Il ne ſera pourtant pas difficile de les concilier, ſi l'on conſidère, qu'il n'eſt queſtion dans mon Mémoire, que de la cauſe générale & extérieure de la viciſſitude des ſaiſons, qui eſt le Soleil, & de la chaleur qui doit en réſulter dans les deux ſolſtices; au lieu que les obſervations & les expériences de M. Amontons, tombent ſur la chaleur totale & abſolue provenant du concours de toutes les cauſes quelconques, tant internes qu'externes, qui produiſent la chaleur dans l'une & l'autre ſaiſon. C'eſt de là, & par une courte analyſe, que je conclus qu'il y a donc par toute la terre un fonds de chaleur indépendant de la viciſſitude des

* Hiſt. de l'Acad. 1702, *p.* 7.

ſaiſons : car des obſervations ſemblables qu'on a faites dans la plûpart des pays connus, & de ſemblables inductions que nous en pouvons tirer, ne permettent pas de douter que le même principe ne ſoit applicable à tous les pays, ſauf les modifications qu'y apportera peut-être la complication des autres cauſes, telles que la latitude & la ſituation du lieu, la nature du ſol, &c. C'eſt par-là, dis-je, & d'après les élémens de calcul donnés, que je trouve ce fonds permanent de chaleur pour le climat de Paris 393 fois plus grand que le degré de chaleur de l'hiver, en tant que celui-ci ne réſulteroit que de la cauſe générale de la viciſſitude des ſaiſons. Prenant donc cette chaleur de l'hiver pour l'unité, il y aura ordinairement dans le climat de Paris, une baſe, pour ainſi dire, de chaleur permanente, d'environ 393 degrés, ſur laquelle s'élève alternativement le degré unique de chaleur de l'hiver, & les 66 degrés de chaleur de l'été, produits par la cauſe générale de la viciſſitude des ſaiſons, & dont les ſommes ſeront à peu-près dans le rapport abſolu de 7 à 8 que donne l'obſervation immédiate. On en peut voir le détail & la démonſtration dans le Mémoire même.

Du reſte, que ce ſoit un feu véritablement central, ou très-profond, inné avec le Globe terreſtre, ou acquis, au moyen

des rayons du Soleil, qui échauffent toûjours également ou à peu près, un de ſes hémiſphères, c'eſt ce que je ne diſcuterai point ici; quoique bien des raiſons me perſuadent, qu'il tient à la ſtructure interne de la Terre, & des planètes en général. Il me ſuffit que l'exiſtence n'en ſoit pas douteuſe.

La chaleur de ce feu ſe fait ſentir dans les excavations profondes, & ſelon qu'elles ſont plus profondes. Il ne faut pas creuſer bien avant pour trouver d'abord une chaleur conſtante & qui ne varie plus, quelle que ſoit la température de l'air à la ſurface de la terre. On ſait que la liqueur du thermomètre ſe ſoûtient toûjours ſenſiblement pendant toute l'année à la même hauteur dans les caves de l'Obſervatoire, qui n'ont pourtant que 84 pieds ou 14 toiſes de profondeur, depuis le raiz de chauſſée; c'eſt pourquoi l'on fixe à ce point la chaleur moyenne ou tempérée de notre climat.

Cette chaleur ſe ſoûtient encore ordinairement, & à peu de choſe près la même, depuis une ſemblable profondeur juſqu'à 60, 80 ou 100 toiſes, & au delà, plus ou moins, ſelon les circonſtances, comme on l'éprouve dans les mines: après quoi elle augmente, & devient quelquefois ſi grande, que les ouvriers ne ſauroient y tenir & y vivre, ſi l'on ne leur procuroit pas quelque

rafraîchiſſement, & un nouvel air, ſoit par des *puits de reſpiration*, ſoit par des chûtes d'eau *, & cela auſſi à cauſe des vapeurs nuiſibles dont il faut les garantir.

Je crois cependant que cette augmentation de chaleur, lorſqu'elle eſt bien ſenſible, & ces chaleurs inſupportables qu'on n'éprouve guère que dans les mines très-profondes & au delà de deux ou trois cens toiſes, ſont plûtôt l'effet des vapeurs ſulphureuſes, ou des feux réels qui s'allument en ces endroits par le conflict de l'air & de quelques autres circonſtances locales, que du plus de proximité du foyer central. Ce foyer, ou ce feu central, en eſt bien la cauſe, en tant qu'il s'exhale plus abondamment par des terres plus poreuſes, ou par de plus larges canaux; mais il ne l'eſt pas relativement à la diſtance & proportionnellement à ſon plus de proximité: car qu'eſt-ce que trois cens toiſes, par exemple, de plus ou de moins ſur plus de trois millions qu'en contient le rayon du Globe terreſtre? Ce n'en eſt pas la dix millième partie; & l'augmentation ou la diminution de chaleur qui en réſulteroit, n'iroit guère qu'à un cinq millième, en prenant le rapport inverſe des quarrés de diſtance, comme il convient à toute émanation centrale.

* Boyle, *de Temperie ſubterranearum regionum, ratione Caloris & Frigoris.* Boerhaave, *Chemia t. 1. De Aere, &c.*

Si dans l'hypothèse du feu véritablement central, les couches extérieures de la terre, c'est-à-dire, de trois ou quatre mille toises au dessous de sa surface, étoient d'une substance & d'un tissu homogènes, la chaleur, en tant qu'elle émaneroit de ce centre, & autant que nous pouvons en approcher, n'augmenteroit donc que par degrés insensibles, & lorsqu'elle augmente sensiblement, nous devons conclurre que ces couches ne sont pas homogènes.

M. Micheli du Crest, dans sa *Description de la Méthode d'un Thermomètre universel,* nous apprend, quoique dans un tout autre esprit, qu'il avoit reçu le détail d'une observation faite à Ardinghem, entre Calais & Boulogne, dans une mine dont la profondeur est de 447 pieds, 74 $\frac{1}{2}$ toises, où deux de ses thermomètres s'arrêtèrent précisément au point de la température des caves de l'Observatoire.

Il y a quelques années que je priai M. de Gensane, Correspondant de l'Académie des Sciences, & Directeur des Mines de Franche-Comté & d'Alsace, de faire là-dessus quelques expériences ; il m'apporta peu de temps après des coupes & des desseins des mines de Giromagny, qui sont au pied de la montagne nommée le Balon, à 3 lieues de Béfort dans la haute Alsace, & les observations qu'il y avoit faites avec le baromètre,

& ſur-tout avec le thermomètre. Il réſulte de ces dernières, qu'au mois de Décembre 1744, le thermomètre de M de Reaumur étant, auprès de la mine, à 2 degrés au deſſus du point 0 de la congélation, il monta, étant mis à l'entrée du puiſard ou de la mine, à 8 degrés. Etant porté à 52 toiſes de profondeur verticale, il ſe ſoûtint à 10 degrés, c'eſt-à-dire, à peu près au tempéré des caves de l'Obſervatoire, & ainſi de ſuite, dans cet ordre,

Toiſes de profondeur.	*Degrés du Thermomètre.*
52	10
106	10 $\frac{1}{2}$
158	15 $\frac{3}{4}$
222	18 $\frac{1}{6}$

Ce qui n'approche pas des grandes chaleurs de notre climat, & qui étant réduit à la réalité indépendante de nos ſenſations, ne formera qu'un accroiſſement très-peu conſidérable. Car ſoient 210 de ces degrés du thermomètre la partie qui répondroit à la baſe permanente de chaleur de notre climat, & que nous avons évaluée ſous un autre point de vûe à 393; la progreſſion précédente ſe changera en celle-ci,

Toises de profondeur.	*Degré de chaleur.*
52	210
106	210 $\frac{1}{2}$
158	215 $\frac{3}{4}$
222	218 $\frac{1}{6}$

Où le plus grand terme n'excède le plus petit que d'environ $\frac{1}{26}$. Excès que les moindres inégalités de consistance dans le terrein peuvent produire ; mais toûjours du côté du centre, d'où vient le plus de chaleur. Du reste, quoique le nombre 210 ne soit pas pris ici au hasard, & qu'il approche assez du véritable converti en degrés du thermomètre, je ne le donne cependant que par manière d'exemple, ne voulant pas entrer là-dessus dans un détail de calcul qui nous écarteroit trop de notre principal objet.

En rabattant le merveilleux, & la plus grande partie de ce qu'on nous rapporte de l'excessive profondeur des mines de sel de Villuzka en Pologne à deux lieues de Cracovie, il reste pour vrai qu'elles sont très-profondes, & qu'il y a toûjours dans cette espèce de gouffre, qui est fort vaste, un grand nombre d'habitans ou de travailleurs. Cependant on ne fait aucune mention de la chaleur qu'on y éprouve, & il y a grande apparence qu'elle est fort tempérée. Peut-être que les corpuscules salins répandus dans l'air qu'on y respire, contribuent à cette

température, conformément à ce que nous en avons dit dans un des chapitres précédens.

Quoi qu'il en soit, la chaleur égale & permanente qui règne dans toute cette couche assez épaisse du globe terrestre, depuis la profondeur des caves de l'Observatoire, ou telle autre, selon les circonstances des lieux, sera toûjours le signe le plus distinctif du feu central ou intérieur dont nous avons démontré la réalité. L'augmentation quelconque de chaleur depuis cette couche vers le centre, & constamment vers le centre, quelles qu'en soient les intensités, achève de le rendre palpable. Tout le reste se complique avec d'autres causes, avec la nature du terrein & les matières inflammables ou non inflammables dont il est composé, & sur-tout avec la direction & la distribution, ou accidentelle, ou organique, des canaux par où ce feu s'exhale. De-là des tremblemens de terre, par la rencontre fortuite du feu avec un air très-dense par sa profondeur, & subitement enflammé dans les cavernes soûterraines *. De-là les volcans qui existent actuellement, ou qui ont autrefois existé dans presque toutes les grandes montagnes; & de-là enfin la formation de la plûpart de ces montagnes: car il semble, à en juger par les vestiges qui nous en restent, que ce soit à ces points de la croûte extérieure du globe, que

* *Voy.* Mém. de l'Acad. des Sc. 1703, *p.* 101.

le feu a redoublé de force, & par où il s'eſt fait jour, en ſoûlevant & fracaſſant ces immenſes couches de rocher qui s'oppoſoient à ſes éruptions.

CHAPITRE XII.

Effets ſenſibles du Feu central dans la Mer, & ſur les eaux de la Mer.

LES expériences nous manquent ſur ce ſujet; cependant le peu que nous en avons, l'analogie qui règne dans tout ce qu'on vient de voir, & quelques faits particuliers, ne nous permettent pas de douter que la Mer ne ſe reſſente de cette chaleur centrale ou très-profonde que nous venons de démontrer & de décrire par rapport aux grands Continens.

M. le Comte Marſigli, à qui les Sciences ſont ſi redevables, nous apprend dans ſon Hiſtoire phyſique de la Mer, qu'*ayant plongé un thermomètre en divers lieux, & à diverſes profondeurs, dans les mois de Décembre, de Janvier, Mars & Avril, il trouva que la température à la profondeur de 10, 20, 30, 120 braſſes, étoit toûjours également de 10 $\frac{1}{2}$ degrés, ou de 10 $\frac{3}{4}$* *. Il le plongea auſſi au

* *Hiſt. phyſ. de la Mer, p. 16.* Ces expériences furent faites ſur le golfe de Lion, vers l'an 1709, avant & après, comme il paroît par l'Eloge de l'Auteur. *Hiſt. de l'Acad. des Sc. 1730, p. 139.*

mois de Juin, & je ne ſais par quelles circonſtances la liqueur y deſcendit 3 ou 4 degrés plus bas, ſelon la Table qu'il nous en a donnée. Mais quoi qu'il en ſoit, ces obſervations reviennent parfaitement à notre idée, par la chaleur ſenſiblement uniforme qu'elles donnent à la mer en différens temps, au deſſous de 10 braſſes ou 10 toiſes de profondeur, & juſqu'à 120 toiſes. Tout ce qu'il y auroit à deſirer, c'eſt que l'Auteur nous eût indiqué quelque terme fixe de chaleur ou de froideur auquel on pût rapporter les degrés de ſon thermomètre. Cependant on peut juger par l'inſpection de l'inſtrument même qu'il a repréſenté dans une de ſes planches, & à certaines marques qu'il y a ajoûtées, que ces 10 $\frac{1}{2}$ degrés de chaleur ne s'éloignent pas de ce que nous appellons le tempéré, & qu'il ſemble nous déſigner par le mot de *température* *.

Ce témoignage de M. le C. Marſigli eſt d'autant plus poſitif, qu'il eſt rendu en quelque ſorte contradictoirement à celui du fameux Boyle qui avoit traité *du fond de*

* Il y a une marque ſur ces 10 $\frac{1}{2}$ degrés, & la liqueur eſt pourtant arrêtée au 44 $\frac{1}{2}^{me}$, 34 degrés au deſſous, comme ſi c'étoit-là le point où elle étoit ſur la Terre, avant que l'inſtrument fut plongé dans la Mer. Je crois qu'il vaudroit mieux encore faire ces expériences avec la Sonde de M. Hook, décrite dans l'*Eſſai d'Inſtructions ſur les Voyages, T. I. des Voyages au Nord*, ou ſemblable, par le moyen de laquelle on retirât de l'eau du

la mer, & *de la température des régions ſoûmarines,* mais, ſelon M. le C. Marſigli, d'une manière très-imparfaite, ſoit qu'il eût été prévenu *par la mort,* ou que *quelqu'autre accident qui ne nous eſt pas connu,* l'eût empêché d'y mettre la dernière main.

Voyons pourtant ce qu'a penſé M. Boyle ſur le fait dont il s'agit. *C'eſt,* dit-il, *une erreur vulgaire* de s'imaginer *que les eaux les plus profondes de la mer ſoient toûjours très-chaudes;* & il croit au contraire, d'après pluſieurs relations qu'il s'étoit procurées, qu'*en général la température des régions inférieures de la mer eſt froide.* Sur quoi j'ai à faire quelques remarques.

Selon notre théorie même, les eaux profondes de la mer ne ſauroient être ordinairement très-chaudes, ſi, par très-chaudes, *(calidiſſimæ)* on entend que la chaleur de ces eaux ſurpaſſe de beaucoup la température qui réſulte en général des émanations du feu central, & celle des eaux ſupérieures.

Je ne ſais auſſi ce que ſignifie, à l'égard de de cette région inférieure, la qualification de froide, *(frigida eſt)* tant que je n'aurai

fond de la Mer ſans mélange, & en aſſez grand volume pour qu'elle conſervât à peu près ſa température dans l'intervalle du temps qu'on emploie à la monter, & qu'on y plongeât le thermomètre ſur le champ; ou, au défaut d'une pareille Sonde, qu'on ſe ſervît d'un thermomètre dont la boule fût fort groſſe, & la marche fort lente.

point un terme de comparaiſon pour en évaluer la froideur; car peut-être n'eſt-ce que ce que j'appelle la température réſultante du feu interne auprès de la ſurface du Globe.

De plus, par la loi inviolable d'hydroſtatique, qu'il eſt très-important de ne pas perdre de vûe, & qui fait ici la grande différence entre les continents & la mer, les eaux les plus chaudes, & par conſéquent, toutes choſes d'ailleurs égales, les plus légères, doivent continuellement monter au deſſus de celles qui le ſont moins. Ce qui donnera à toute cette grande couche liquide du Globe terreſtre, une température à peu près égale, conformément aux obſervations de M. le C. Marſigli; excepté vers la ſuperficie actuellement expoſée aux impreſſions de l'air, & où l'eau ſe gèle quelquefois, avant que d'avoir eu le temps de deſcendre par ſon poids & par ſon refroidiſſement.

Je dis enfin, que M. Boyle n'ayant pas eu des obſervations où l'on ait employé le thermomètre, ayant parlé ſeulement d'après la ſenſation toûjours relative & équivoque des plongeurs, ou d'après la froideur aquiſe de la ſonde jugée au tact, ſoit à quelques toiſes de profondeur dans les mers du Nord dont ils n'avoient pû ſoûtenir la froideur, ſoit à de plus grandes profondeurs dans les mers des Indes, on ne ſauroit rien ſtatuer

de fixe ni de concluant sur de pareilles expériences.

Il est comme démontré, que si le fond de la mer ne se ressentoit pas des émanations continuelles du feu central, les eaux y seroient toûjours non seulement froides & très-froides, à cent ou deux cens brasses de profondeur, & à plus forte raison, à trois ou quatre cens *, mais encore absolument glacées, comme les mers du Groenland & de la nouvelle Zemble dans le plus fort de l'hiver. Car 1° la surface de la mer ne se glace dans ces pays circompolaires, que par le refroidissement de l'air, & ce refroidissement ne vient que de l'affoiblissement de la cause générale & extérieure de la chaleur. 2° Cette cause, l'action des rayons solaires, ne pénètre certainement pas d'ordinaire à plus de 10 ou 12 pieds de profondeur dans la terre, comme les glacières qui s'y maintiennent le justifient. 3° Si nous ne faisions que comparer en cela la terre & l'eau, relativement à leurs pesanteurs spécifiques, nous trouverions que les rayons du Soleil n'échaufferoient pas la mer au delà de 20, 25, ou 30 toises de sa sur-

* On a filé la Sonde à cette profondeur, & bien au delà, sans trouver terre. Quelques Marins ont cru qu'elle ne pouvoit descendre si bas, ni à beaucoup près; mais c'est un préjugé qui n'est fondé sur aucune bonne raison, & que l'expérience dément. Fournier, *Hydrographie, p. 607.* Marsigli, *ubi sup. p. 10.*

face. Mais donnons aux eaux de la mer le décuple, le centuple, s'il le faut, de cette épaiſſeur qu'exige la terre pour conſerver la froideur de la gelée, & cela, ſi l'on veut, en vertu de la tranſparence de ces eaux; quoiqu'elles la perdent, ou qu'on ne voie plus à travers au delà de 256 pieds 42 $\frac{2}{3}$ toiſes *, & que la tranſparence n'exclue ni la froideur, ni la congélation, puiſque la glace eſt tranſparente. Que ſera-ce à 2, 3 ou 4 cens toiſes de profondeur! Donc les eaux de la mer ſeroient toûjours glacées à de ſemblables profondeurs, ſi quelque feu encore plus profond ne les y entretenoit dans leur état de liquidité.

Il y a donc certainement ſous le baſſin de la mer un principe de chaleur, & de quelque manière qu'on l'entende, il y a du feu, puiſqu'il en ſort de toutes parts. Le baſſin de la mer a du moins, comme le reſte de la Terre, ſes volcans dont les éruptions ſe manifeſtent par la formation ſubite des nouveaux écueils, & par la naiſſance des Iſles encore fumantes; par les trombes marines, qui ne ſont vrai-ſemblablement qu'une ſuite de ces éruptions moins complètes, lorſque le ſoûlévement des terres du deſſus n'a pas été ſi étendu, ou n'a pû parvenir juſqu'à la ſurface de l'eau; par les veſtiges

* Eſſai d Opt. ſur la grad. de l a Lum. *par M. Bouguer, p. 85.*

de feu, les pierres calcinées & légères dont elle se couvre quelquefois tout à coup, *sur un espace de quatre ou cinq cens lieues,* à plusieurs centaines de lieues loin des côtes *(a)*, & sans qu'il y ait aucun volcan à la ronde; & enfin par le bouillonnement, vrai ou apparent, des eaux, soit qu'on y *sente une chaleur immodérée qui en défend l'accès,* comme il arriva autour du nouvel écueil qui parut en une nuit près de l'Isle de Santorin *(b)*, soit que cette espèce de bouillonnement ne vienne que des eaux plus chaudes du dessous, & par-là plus légères, qui montent sans cesse au dessus.

CHAPITRE XIII.

Autres effets du Feu intérieur quelconque de la Terre.

NE nous lassons point d'éclaircir par des exemples une matière si importante pour notre sujet, & si intéressante par elle-même.

Tout fluide qui tend à se dilater, quelle qu'en soit la cause, tend également à repousser ce qui s'oppose à ses dilatations: il est impulsif par cela même qu'il est expansif. Or, comme l'a montré M. Boerhaave

(a) Hist. de l'Acad. des Sc. 1743, *p.* 32.
(b) Hist. de l'Acad. des Sc. 1708, *p.* 23.

dans

dans ſa Chymie, par mille raiſons de théorie & d'expérience, de toutes les propriétés du feu la plus inconteſtable & la plus eſſentielle, c'eſt l'expanſion. La vapeur chaude & ſubtile, cette atmoſphère qui environne les corps ſolides brûlans ou échauffés, en un mot les émanations de tout feu central, ſeront donc auſſi impulſives, & agiront perpendiculairement au corps échauffé ; & celles de la Terre agiront encore ainſi par leur tendance de légèreté qui les dirige ſans ceſſe en ſens contraire aux impulſions de la peſanteur, comme la flamme. Une expérience très-familière réunit tous ces effets. On ſuſpend au deſſus d'un poêle une lame ſpirale de carte ou de papier, de manière que ſes plans ſe préſentent obliquement à la vapeur qui monte verticalement du fer ou de la brique, & la ſpirale, l'hélice, ou le moulinet tourne, & tourne d'autant plus vîte, que le poêle eſt plus échauffé. L'on ſe ſert même de cette eſpèce de thermomètre pour y entretenir un feu égal. Ainſi, dis-je, les émanations du feu central ou intérieur quelconque de la terre, dont l'exiſtence n'eſt pas douteuſe, auront une impulſion ſenſible, quoiqu'inviſible, ſur tous les corps ſolides ou fluides qui environnent la terre ; & ſi elles l'ont, elle ſe décélera, lorſque ces corps, ſolides ou fluides, & viſibles, ſeront contraints de lui céder en tout ou en partie.

D'où vient la perpendicularité conſtante de la tige des plantes à l'horizon ? Leurs graines jetées en terre au haſard s'y trouvent tournées de mille façons différentes, par rapport à la partie qui doit germer & d'où ſort la *plantule,* obliquement, de haut en bas, plus ou moins ; & entre toutes ces ſituations dont le nombre eſt infini, celle qui dirigeroit préciſément ce germe en haut ou perpendiculairement à l'horizon, eſt unique. Cependant toutes ſortent perpendiculairement, leur tige naiſſante ſe plie, ſe coude, ſe redreſſe dans la terre, & remonte ſelon cette direction. Prennent-elles ſur un mur vertical ou ſur des lieux eſcarpés ; elles ſe redreſſent dans l'air, & pouſſent vers le zénit, comme ſi leur germe avoit été poſé ſelon cette direction dans un terrein horizontal. Des arbres ſont-ils abattus par un torrent, ou renverſés par la tempête, & couchés horizontalement ſur la terre ; leurs ſommités & leurs branches les plus flexibles repouſſent, en fléchiſſant vers le haut, & reprennent bien-tôt la perpendicularité qui leur convient. Les fleurs du maronnier d'Inde, qui par la longueur des fibres de leurs pédicules peuvent ainſi ſe couder & ſe relever, tendent de même à ſe diriger vers le zénit ; & comme ces fibres ſont aſſez fortes pour s'y maintenir, malgré un aſſez grand poids de la fleur qui les

retire en ſens contraire, elles s'y dirigent en effet pour la plûpart, ſous la forme d'autant de girandoles coniques. Enfin cette affectation des végétaux eſt ſi viſible & ſi conſtante, que je n'y ſache point d'exception dont on ne puiſſe ſur le champ trouver la raiſon particulière, ſans préjudice à la cauſe générale.

Mais cette cauſe, quelle eſt-elle? ou que pourroit-on imaginer de plus prochain & de plus vrai-ſemblable, qu'un fluide qui s'élève continuellement de terre ſelon cette direction, & qui par ſes impulſions redoublées oblige la plante & ſes parties les plus flexibles à s'y conformer?

M. Dodart *, qui a parfaitement décrit les ſingularités de ce phénomène, ſemble nous inviter lui-même à cette explication par les ſages reſtrictions qu'il ajoûte à ce qu'il nous en a donné, & dont il reconnoît l'inſuffiſance. Je ne voudrois pourtant pas rejeter toutes ſes explications. Il y en a quelqu'une ſans doute qui pourroit concourir, quoique foiblement, avec celle que je propoſe: mais l'attraction des rayons ſolaires, qu'on croiroit peut-être une des plus plauſibles, eſt manifeſtement détruite par cette objection, que ſi elle avoit lieu, toutes les tiges des plantes ſeroient inclinées vers le midi, & d'autant plus, que les pays où

* Mém. de l'Acad. des Sc, 1700, *p.* 47.

elles croiſſent ſeroient plus proches du Pole.

M. de la Hire * penſoit qu'un ſuc plus groſſier & plus peſant deſtiné à nourrir les racines, par rapport au ſuc plus ſubtil & plus léger qui couloit dans la tige & dans les branches, pouvoit déterminer les unes à pouſſer en en-bas, & les autres à gagner le deſſus; après quoi, l'air ne faiſant aucun obſtacle à leur prolongement, elles ſortoient de terre, & continuoient de croître perpendiculairement à l'horizon. Mais outre que cette cauſe me ſemble peu proportionnée aux effets qu'il lui attribue, je ne vois pas comment on pourroit l'appliquer au cas des plantes qui croiſſent ſur les murailles ou ſur des lieux eſcarpés, non plus que des arbres couchés horizontalement, dont les ſommités ſe relèvent, & encore moins des fleurs qui, malgré leur poids & la direction de leurs pédicules, ſe redreſſent vers le zénit. Au lieu qu'un fluide qui coule ſans ceſſe plus ou moins, de bas en haut, qui s'inſinue peut-être dans les vaiſſeaux organiques des plantes & qui ſe mêle avec leur ſève, ſatisfait à tout, & ſe trouve fondé lui-même ſur une cauſe inconteſtable, la chaleur intérieure de la terre.

Parmi les raiſons qu'on a données juſqu'ici des variations du baromètre, & que je ne prétends pas rejeter, je doute qu'il

* Mém. de l'Acad. 1708, *p.* 231.

y en ait de plus vrai-ſemblables que ces vapeurs ou ces émanations quelconques qui montent ſans ceſſe du centre vers la circonférence du globe, mais qui montent quelquefois en plus grande abondance & avec plus de force, comme je crois qu'il arrive pendant les tempêtes, les éruptions des volcans, & les tremblemens de terre, où le baromètre baiſſe preſque ſubitement, & beaucoup plus qu'il n'a coûtume de faire dans ſes variations ordinaires. Ce qui ſe voit alors en petit dans les pays ſujets à ces ſortes d'accidens, a lieu, ſi je ne me trompe, en grand, quoique d'une façon moins marquée, ſur toute la ſurface de la terre. Car ce fluide dirigé de bas en haut doit ſoûtenir ou diminuer d'autant le poids ou la tendance de l'atmoſphère de haut en bas, & obliger le mercure du baromètre, qui lui fait équilibre, à deſcendre, ſelon que la tendance contraire eſt plus grande, ou qu'elle réſulte d'un fluide plus denſe & plus abondant. Les chaleurs immodérées & paſſagères que l'on éprouve quelquefois dans tous les climats, & indépendamment des ſaiſons, ſont preſque toûjours accompagnées des mêmes circonſtances, & l'effet d'une ſemblable cauſe.

Quant à la cauſe même de ces accès d'une émanation plus ou moins forte des vapeurs centrales, j'avoue que je l'ignore

totalement. Savons-nous la loi des expanſions & des contractions de l'atmoſphère ſolaire, toute expoſée qu'elle eſt à nos yeux dans la lumière zodiacale que nous voyons quelquefois s'étendre bien au delà de l'orbite terreſtre, & quelquefois ſe renfermer dans l'orbite de Vénus ou de Mercure ? Il eſt très-poſſible qu'il y ait dans la ſtructure de la Terre, par rapport à ſon feu central, un principe intérieur de dilatation & de contraction alternatives, dont nous ne connoîtrons jamais le méchaniſme, quoique nous en voyions & que nous en reſſentions les effets.

CHAPITRE XIV.

Circonſtances extérieures & locales qui ſe compliquent avec l'émanation, & avec la ſuppreſſion des vapeurs du Feu central.

CES circonſtances, comme autant de nouvelles cauſes du froid & de la gelée, ſe manifeſtent principalement ſur les hautes montagnes, c'eſt-à-dire, dans les pays où la ſurface de la Terre n'eſt qu'un aſſemblage & un tiſſu de rochers élevés. Car on conçoit aiſément que cette croûte plus denſe, plus épaiſſe, & plus éloignée du foyer que celle du terrein d'une plaine, doit intercepter en tout ou en partie les vapeurs chaudes qui s'élèvent ou tendent à s'élever du deſſous. C'eſt

pourquoi l'on éprouve toûjours ſur les hautes montagnes, telles, par exemple, que celles de la Cordelière en Amérique, un froid inſupportable, l'eau s'y glace au milieu de la zone torride, & la neige, dont les plus élevées ont retenu le nom de *montagnes neigées,* n'y fond jamais à une certaine hauteur conſtante & déterminée (*a*). On ſait de même que les Alpes, les Pyrénées, & tous les autres grands pays montagneux ont auſſi leurs *montagnes glacées*, où de temps immémorial on n'a point vû fondre la glace (*b*). Et quoiqu'il ait été allégué bien des raiſons de ce phénomène, parmi leſquelles il en eſt que j'adopterois volontiers (*c*), je ne trouve pas qu'elles y ſatisfaſſent pleinement. Je crois qu'il faut recourir de plus & pour la plus grande partie de l'effet, à la cauſe locale compliquée avec le principe du feu central, à ces vapeurs & à ce fluide qui s'élèvent de l'intérieur du globe, & qui ne pouvant pénétrer en aſſez grande abondance la croûte épaiſſe & compacte qui s'oppoſe à leur ſortie, laiſſent le deſſus expoſé à un froid glacial qui régneroit

(*a*) Savoir, à 2440 toiſes au deſſus du niveau de la Mer. *Relat. de M. Bouguer. Mém. de l'Acad. 1744.*

(*b*) Scheuchzer, *Iter quartum Alpinum.*

(*c*) Sur-tout celles que M. Bouguer en a données dans ſa dernière *Relation du Voyage fait au Pérou*, à la tête de ſon livre de *la Figure de la Terre*, imprimé cette année, & depuis que tout ceci étoit écrit.

ſur tout le reſte de la terre, ſi ce principe permanent de chaleur ne l'en garantiſſoit pas.

Il y a encore une choſe à remarquer ſur pluſieurs de ces hautes montagnes toutes compoſées de rochers, c'eſt que les variations du baromètre y ſont preſque nulles ou ſeulement d'une ou deux lignes, tandis que dans les pays d'alentour, & vers le bord de la mer, elles s'étendent entre les limites d'environ deux pouces. Telles ſont les Alpes, comme l'a remarqué M. Scheuchzer dans les différens voyages qu'il y a faits; car quoiqu'il faille retrancher des variations qu'il y devroit avoir, la partie proportionnelle à la deſcente du mercure dans le tube, en conſéquence de la hauteur des lieux, il s'en faut bien que ces variations approchent de ce qu'elles devroient être, puiſqu'environ 7 pouces de deſcente, par exemple, à quoi répond la plus grande hauteur des Alpes, ne devroient donner que 7 à 8 lignes tout au plus de retranchement à l'étendue des limites de variation, & qu'il en reſteroit encore 16 à 17. D'où viendroit donc que l'atmoſphère ne s'y mettroit pas en équilibre avec celle des plaines des environs pendant ces alternatives de deſcente & de *montée* du mercure, ſi l'interception du fluide montant, dont les accès ne s'y font point ſentir, n'avoit pas lieu! Ce n'eſt pas l'éloignement de l'atmoſphère qui eſt au deſſus, d'avec

celle des plaines voiſines, qui l'interrompt ou l'empêche ; car nous avons une infinité d'obſervations correſpondantes entre Paris, Uranibourg, Copenhague, & autres lieux fort éloignés, où les mêmes variations du baromètre arrivent le même jour, & preſque à la même heure.

J'avoue que la différence n'eſt pas ſi marquée entre les montagnes de la zone torride & les lieux circonvoiſins ſitués au bord de la mer ; mais c'eſt que la ſurface de la zone torride eſt beaucoup plus élevée que celle des autres zones, & que par-là, ou par la cauſe même de cette élévation, la hauteur & les variations du baromètre y ſont beaucoup plus limitées, tant ſur les montagnes que dans la plaine. Par la même raiſon le chaud qu'il fait communément dans la zone torride n'eſt pas plus grand que celui qu'on éprouve à Paris dans les étés ordinaires ; il eſt ſeulement plus continu, & c'en eſt aſſez pour être plus inſupportable *.

* Par les dernières obſervations de la figure de la Terre, le milieu de la zone torride eſt plus éloigné du centre que les poles terreſtres, de 7 à 8 lieues. Cette élévation, ſi elle donnoit autant d'éloignement de plus de la ſphère centrale de la chaleur, devroit, ſelon nos principes, cauſer un froid extrême dans toute cette zone. Mais il faut prendre garde que les forces centrifuges qui ont produit l'élévation de la zone torride, ayant agi d'abord ſur toutes les couches du globe terreſtre, ſuppoſé primitivement fluide, en raiſon des quarrés de vîteſſe & des diſtances, la croûte ou la couche terreſtre exté-

La ſuppreſſion des vapeurs centrales eſt aiſée à démêler, quand, avec la hauteur du ſol, elle ſe trouve jointe à d'autres cauſes de froid, telles que la ſaiſon de l'hiver, la hauteur du pole, les terres chargées de nitre ou d'autres ſels; parce qu'il en réſulte alors des effets prodigieux, & qui ſurpaſſent de beaucoup ce que ces circonſtances toutes ſeules pourroient produire. Les hivers de la Sibérie & de quelques autres régions du continent de l'Aſie, entre les 55 & 60 degrés de latitude, ſont ſi terribles, qu'on a de la peine à imaginer que les hommes & les animaux puiſſent y réſiſter. Un ſavant Naturaliſte qui a paſſé quelques années dans ces pays-là, rapporte * que le mercure du thermomètre de M. Deliſle y deſcend communément en

rieure de la zone torride n'a pû par cette cauſe que devenir un peu plus épaiſſe que celle des autres zones; & c'eſt de cette petite épaiſſeur de plus à cet endroit du globe que réſulte une chaleur moins grande qu'elle ne devroit l'être à raiſon de la latitude, & par la cauſe générale des ſaiſons. En un mot, la ſphère ou le ſphéroïde du feu central doit s'étendre davantage vers la zone torride que par-tout ailleurs, & y trouver en même temps une croûte plus épaiſſe de terrein à traverſer.

* M. Jean-George Gmelin, Prof. en Chym. & en Hiſt. Nat. de l'Acad. Imp. de Péterſbourg, dans la grande & belle Préf de ſa *Flora Siberica*. Ces obſervations ſe rapportent aux années 1735, 36, 37 & 38, & ont été faites principalement au Fort de Kiren ſur la Lena, & à la ville de Jeniſea ſur la rivière de même nom, vers le 58 & le 58 $\frac{1}{2}$ degrés de lat. ſelon *l'Atlas Ruſſicus*, publié en 1745.

hiver à 240, & quelquefois jusqu'à 270 & 281 degrés, qui répondent à environ 48, 64 & 70 degrés de celui de M. de Reaumur, au dessous du terme de la congélation: tandis qu'à Torno en Bothnie, à près de 66 degrés de latitude, en Janvier 1737, le même thermomètre garni de mercure ne descendit qu'à 37 degrés, & qu'à Paris en 1709, le plus grand froid n'alla pas à la valeur de 15 de ces degrés. C'est que le terrein de la Sibérie est compacte & fort élevé, qu'il abonde en nitre & autres sels, qu'on y trouve en plusieurs endroits & presque toûjours de la glace à quelques pieds sous terre, & que cette glace s'étend vrai-semblablement à une très-grande profondeur; de manière qu'on n'y sauroit que difficilement creuser des puits, & que si l'on vient à bout d'y en creuser, même plus bas que le lit des rivières voisines, l'eau n'y peut couler, en étant empêchée par les glaces, ou parce qu'elle se glace elle-même: toutes circonstances qui contribuent à la rigueur des hivers qu'on y éprouve, & contraires à l'émanation des vapeurs soûterraines; mais qui, sans l'interception de ces vapeurs, ne sauroient porter le froid à cet excès énorme. Aussi le judicieux Auteur qui nous fournit tous ces faits, ne doute-t-il pas qu'il ne s'y mêle quelque chose de plus *.

* *Subesse aliam quamdam causſam in terra fortè latentem*, p. lxix.

CHAPITRE XV.

Application du principe des vapeurs centrales, à la Congélation & à la Gelée.

POUR réſumer enfin tous ces faits & toutes ces inductions, & appliquer le principe à notre ſujet, voici, en général, comment je conçois qu'il agit dans les climats tempérés, tels que le nôtre. Les vapeurs qui s'élèvent du ſein de la terre, ſupprimées en tout ou en partie, moins abondantes, ou moins chaudes, diminuent la chaleur qu'il y avoit actuellement à ſa ſurface, ou à la région inférieure de l'atmoſphère, & y amènent ce que nous appellons le froid. Le froid ſurvenu à la ſurface en reſſerre les pores, & cet effet devenant cauſe, diminue à ſon tour l'émanation des vapeurs. Tous les deux, ſoit comme effets, ſoit comme cauſes, ſe compliquent, ſe pénètrent, & ſont ſuivis de la gelée, quand toutes les autres circonſtances requiſes de la ſaiſon, du climat, des vents, &c. y concourent, & cette gelée dure juſqu'à ce que de nouvelles cauſes, internes ou externes, rompent l'accord des premières. A l'égard des climats extrêmes, ſoit pour le chaud, ſoit pour le froid, les cauſes de l'un & de l'autre abſorbent ſouvent l'effet ordinaire de celle-ci, ou l'empêchent de paroître,

quoique toûjours exiſtante ; à moins que des circonſtances particulières ne la décèlent, ou n'en montrent viſiblement la ſuppreſſion, comme nous venons de le remarquer de la partie élevée & montagneuſe du Pérou, au milieu de la zone torride.

CHAPITRE XVI.

De la différence des congélations, ſelon la différence des liquides, en général.

LA différence des congélations peut conſiſter ou dans leur promptitude, ou dans leur force, ou dans pluſieurs autres circonſtances qui varient à l'infini, ſelon la nature & les propriétés du liquide.

Pour s'en faire une idée générale, qui eſt tout ce que nous prétendons en tracer ici, il ſuffit de ſe rappeller ce qui a été dit ci-deſſus, de la différence qu'il y peut avoir entre les liquides, par la groſſeur, par les figures, & par les denſités différentes des parties qui les compoſent. Car les mêmes combinaiſons d'où reſultent leurs différens degrés & leurs différentes eſpèces de liquidité, doivent produire autant de ſortes de glace. Il eſt évident, par exemple, que, toutes choſes d'ailleurs égales, un liquide dont les parties intégrantes ſont plus groſſes, ou plus rameuſes, ou moins polies, ou

plus denſes, doit ſe geler plûtôt que celui dont les parties auroient des qualités contraires; puiſque ce ſont autant de circonſtances qui diminuent l'activité de la matière ſubtile qu'il renferme.

Les liquides qui ſe gèlent facilement, & dont la glace, du moins celle qui ſuccède immédiatement à leur liquidité, n'eſt pas dure, comme l'huile d'olive, la graiſſe fondue, &c. ont apparemment des parties intégrantes plus rameuſes, & avec cela plus ſouples que celles des liquides dont la glace eſt plus ferme. Les petits filamens & les rameaux de ces parties peuvent leur procurer la promptitude de la congélation, & leur ſoupleſſe peut en empêcher la dureté.

Pour les liquides ſimplement aqueux, j'ai remarqué qu'ils ſe glacent preſque tous dans le même temps, ou dans des temps qui diffèrent peu entr'eux, & qu'il n'y a que certaines circonſtances dont on ne s'aperçoit pas quelquefois dans les expériences qu'on en fait, qui ſont l'unique cauſe des différences qu'on y trouve. Car un vaſe où il y aura eu quelque liqueur ſpirituеuſe ou quelque ſel, moins net, plus grand, d'une différente matière, ou d'une différente figure, un plus parfait ou un plus long repos, en un mot, la circonſtance la plus légère, eſt capable de produire des différences conſidérables dans la congélation de

deux liqueurs homogènes, ou même dans celle de deux portions ſemblables d'une même liqueur.

On peut voir parmi les expériences de Florence *, celles qui ont été faites dans cet eſprit ſur les congélations de l'eau de fontaine, de l'eau de neige, de l'eau de myrte, & de pluſieurs autres liqueurs.

CHAPITRE XVII.

Des liquides qui ne ſe gèlent point, ou qui ne ſe gèlent que difficilement.

COMME il n'y a preſque pas de corps, quelque ſolide qu'il ſoit, qui ne ſe fonde & ne ſe vitrifie par un feu violent, je crois auſſi qu'il n'y a point de liquide qui ne puiſſe, à la rigueur, être fixé ou changé en glace par un froid extrême. Si l'on trouvoit jamais le moyen de ramaſſer en un point tout le froid d'un grand eſpace, comme on a déjà eu l'art de raſſembler en un foyer les rayons du Soleil; ſi l'on trouvoit, dis-je, une machine pour augmenter le froid, équivalente aux miroirs dont on ſe ſert pour augmenter la chaleur, je ne doute pas qu'on ne vît en ce genre des phénomènes auſſi curieux & auſſi ſurpre-

* *Saggi di naturali eſperienze, &c.* pag. clvj.

nans que ceux qu'on a vûs au miroir ardent du Palais royal. Il eſt rapporté dans les expériences de Florence, qu'un miroir concave de réflexion ayant été ajuſté auprès d'un tas de glace de 500 livres peſant, l'eſprit de vin d'un thermomètre expoſé à ſon foyer commença à deſcendre. Mais rien n'eſt plus incertain que cette expérience, de l'aveu même de ceux qui l'exécutèrent. M. de Reaumur nous a fourni ſur ce ſujet, & par une voie bien différente de tout ce que l'induſtrie & l'art ont donné juſqu'ici de plus curieux & de plus utile, en augmentant par degrés & de plus en plus, par le moyen des ſels & des eſprits acides tirés de ces ſels, la froideur d'une glace qui ſert à ſon tour à rendre la ſuivante plus froide, & ainſi de ſuite, ſans qu'on ſache où s'arrêtera la progreſſion. Il a pouſſé l'augmentation du froid dans ces expériences, juſqu'à 25 degrés de ſon thermomètre au delà du terme de la ſimple congélation *.

Je n'entends donc par des liquides qui ne ſe gèlent point, que ceux qui ne ſe gèlent que difficilement, ou qu'on n'a point vû geler chez nous dans les hivers les plus rudes.

Les liquides ſpiritueux qui ont des parties fort ténues, fort légères, & fort environnées de la matière ſubtile, ſont de ce

* Mém. 1734, p. 183.

nombre. Car l'agitation de cette matière doit être presque aussi grande dans leur intérieur qu'au dehors; & leur légèreté, jointe à la facilité avec laquelle ils s'évaporent, le prouve d'une manière sensible. Par cela même la matière subtile qui circule dans ces liquides, y perd moins de son mouvement que dans les autres, lorsque celle du dehors vient à s'affoiblir. Par exemple, tandis que, selon la théorie & le calcul du Ch. VII, la diminution d'un degré de vîtesse de la matière subtile du dehors, aura produit dans l'intervalle d'une minute, une diminution de 6 degrés sur la matière subtile qui est renfermée dans l'eau, elle ne produira peut-être pas une diminution de 2 degrés sur celle de l'esprit de vin; & de plus, au lieu de cette progression, 6, 12, 24, 48, &c. que pourroient suivre les diminutions de la matière subtile intérieure de l'eau à chaque minute, les diminutions de celle de l'esprit de vin ne donneront peut-être que celle-ci, 2, 3, $4\frac{1}{2}$, $6\frac{3}{4}$, &c. C'est pourquoi, lorsque la vîtesse de la matière subtile de l'eau aura diminué de 90 degrés, celle de l'esprit de vin n'aura diminué, par exemple, que d'environ 16 degrés: & si l'on faisoit l'agitation de cette dernière, avant l'affoiblissement, de 100 degrés plus grande que l'agitation de celle de l'eau, il lui resteroit encore après cette

diminution près de 84 degrés de vîteſſe au deſſus de la vîteſſe qu'avoit la matière ſubtile intérieure de l'eau avant que de s'affoiblir. Ainſi l'on peut juger quelle augmentation de froid exige l'eſprit de vin, ſelon cette hypothèſe, pour ſe geler, après la congélation de l'eau. On dit qu'il gela en partie dans quelques lieux pendant le grand froid de 1709 : mais il falloit que l'eſprit de vin auquel cela arriva ne fût pas bien rectifié ; car un de mes thermomètres demeura expoſé à l'air pendant les plus grands froids de cette année-là, & je n'y vis jamais la moindre apparence de glace ; quoique dans le pays où j'étois l'eſprit de vin de ce thermomètre ſe renfermât preſqu'entiérement dans la boule *.

Lorſque le vin, l'eau-de-vie, ou telle autre liqueur ſpiritueuſe, vient à ſe geler, ce n'eſt guère qu'en partie, & l'on trouve quaſi toûjours au centre du vaiſſeau, ou de la pièce de glace, la partie la plus ſubtile, qui s'y eſt raſſemblée ſans perdre ſa fluidité. Ainſi l'on peut par cette voie,

* Petit thermomètre de M. Amontons, à Béziers dans le Bas-Languedoc, où j'étois auſſi en 1716, lorſque ceci fut écrit, ce qui, toutes réductions faites, par rapport au thermomètre de M. de Reaumur, donne un peu plus de 12 de ſes degrés au delà du terme de la ſimple congélation, tandis que le point correſpondant au froid qu'il fit à Paris cette même année 1709, eſt environ $14\frac{1}{6}$ degrés.

& ſans autre opération que d'expoſer le vaiſſeau plein de vin à une forte gelée, faire d'aſſez bonne eau-de-vie ; ce que le haſard a produit plus d'une fois, & que l'expérience confirmera quand on voudra. La raiſon en eſt aiſée à comprendre. La congélation commençant toûjours aux extrémités & à la ſurface du liquide, & par ſes parties les plus aqueuſes, & les moins fluides, il s'y doit faire une eſpèce de contraction, qui chaſſe continuellement vers le centre les parties les plus fluides, les plus difficiles à ſe glacer, & par-là les plus propres à s'échapper d'entre les particules de glace qui ſe joignent les unes aux autres vers la ſuperficie. Auſſi la partie glacée de ces liqueurs demeure-t-elle preſque toûjours après cela inſipide & ſans force, à peu près comme de l'eau commune. Et quand leur congélation a été ſi prompte & par un froid ſi grand, que cette ſéparation & cette élixation de parties n'a pû avoir le temps de ſe faire, la glace qui en réſulte n'eſt ni compacte, ni uniforme, & reſſemble quelquefois à de la neige à demi fondue.

Je ne crois pas, pour le dire ici en paſſant, qu'il faille chercher une autre explication au phénomène que Bellini a regardé comme ſi ſingulier, & ſi important pour la connoiſſance de l'œuf, & qu'il

propoſe en forme de problème ou de défi à tous les Anatomiſtes méchaniciens *. Il s'agit de cette partie de l'œuf qu'on voit ſur la ſurface du jaune, qui eſt appellée l'œil, le germe, ou plus proprement la *cicatricule*. C'eſt un fait conſtant que ſi l'on fait durcir un œuf, & qu'on coupe enſuite le jaune en deux, on y retrouve la cicatricule, non à la ſuperficie, mais au centre, & on l'y retrouve liquide en partie, ou avec une petite concavité ſphérique vuide, qui marque que ſa partie la plus ſubtile s'eſt évaporée pendant que le reſte de l'œuf durciſſoit. Je ne penſe pas, dis-je, qu'il y ait de cauſe plus prochaine de cet effet, que celle que je viens de dire, qui produit l'amas d'eſprit de vin au centre du vaiſſeau de vin gelé. L'œuf eſt un tout compoſé de diverſes parties, les unes plus fluides que les autres, ou plus capables de conſerver longtemps leur fluidité; & la portion de liqueur contenue dans la cicatricule, eſt, comme l'on voit par cette même expérience, la plus difficile de toutes à durcir. Il faut donc qu'elle ſoit chaſſée, qu'elle fuie, & qu'elle ſe raſſemble vers le centre, vers la partie encore fluide, & de moindre réſiſ-

* *Obſervatum mille de nominibus ſingulare, & ad mille pertinet. . . . . Oh autem vos, quicunque eſtis cum re Anatomica & Phyſico-Mechanica verſati, exponite mihi problema hoc: Quâ nempè ratione, &c.* Laur. Bellini, *Opuſc. Pr. 4. de Motu Cordis.*

tance, à mesure que les parties extérieures se figent, se durcissent & la pressent ; ce qui est encore favorisé par la pellicule ou petite membrane qui la contient, & qui l'empêche de s'échapper ou de se dissiper vers les côtés.

Il y a des huiles qu'on ne voit presque jamais geler, telles que l'huile de térébenthine, & certaines huiles chymiques, qui tombent pour la plûpart dans le cas des liquides spiritueux tout pénétrés de la matière éthérée.

Les huiles grasses se figent non seulement avec beaucoup de facilité, mais ce sont d'ailleurs des liquides si peu homogènes dans le tissu des parties qui les composent, que quelques-unes de ces parties se trouvent figées par un froid beaucoup moindre que les autres, & long-temps avant les autres. De l'huile d'olive qui étoit gelée, que j'avois fait fondre, & qui étoit demeurée par-là jaune & brillante comme une topaze, ayant été exposée à l'air libre en un temps & en un lieu où la liqueur du thermomètre étoit tantôt à la température des caves de l'Observatoire, tantôt à quatre ou cinq degrés plus bas, devint dans quelques heures terne, opaque & blancheâtre, & se maintint pendant quinze jours ou trois semaines en cet état, sans perdre pourtant en général sa liquidité, jusqu'à ce qu'une gelée la fît entiérement figer ; ce que je ne puis attribuer qu'à cette hétérogénéité de parties.

On a obſervé que la plûpart des huiles, ſoit graſſes, ſoit eſſentielles, ſe figent d'autant plus difficilement par le froid, qu'elles ſont plus anciennes *; parce qu'alors, ſans doute, toutes ces parties hétérogènes ont eu le temps de ſe diviſer, de *s'atténuer* entr'elles, & de ſe mêler plus intimement avec les autres

De toutes les huiles graſſes que je connois, l'huile d'olive eſt celle qui ſe gèle ou ſe fige le plus aiſément & par un moindre froid; celle de pavot, qui lui reſſemble, mais qui ſe gèle difficilement, y étant mêlée, forme un tout avec elle qu'il eſt preſque impoſſible de diſtinguer de la première dans ſa pureté. Auſſi n'arrive-t-il que trop ſouvent dans les pays où l'huile d'olive eſt rare, & d'un haut prix, que des marchands trompent le public par ce mélange. La meilleure manière de découvrir la fraude eſt d'expoſer ce tout à la gelée, ou d'y employer la congélation artificielle : l'huile d'olive ſe gèle, l'autre s'en ſépare, & conſerve toute ſa liquidité.

L'huile d'olive contient cependant, quoiqu'en petite quantité, des parties qui ne ſe gèlent point, & qui ſe réuniſſent au centre du vaiſſeau lorſqu'il en eſt plein & un peu grand, comme l'eſprit de vin dont nous avons parlé ci-deſſus. Il y a des Horlogers qui ſe ſervent de cette *huile concentrée* pour

* M. Geoffroy, Mém. de l'Acad. des Sc. 1728, *p.* 88.

mettre aux pivots de leurs montres & de leurs pendules ; mais je crois l'utilité de cette pratique très-douteuſe, ſi, comme il y a toute apparence, la fluidité de cette huile vient principalement de ſa partie aqueuſe la plus chargée des ſels de la plante, qui s'y ſont raſſemblés : car, en général, & ſans préjudice à ce qui a été dit dans le Chapitre VIII ſur les vapeurs ſalines qui s'élèvent dans l'air, les ſels qui ſe trouvent mêlés avec les liquides en empêchent la congélation, comme il ſera expliqué en ſon lieu ; & ces ſels peuvent ronger le métal des pivots des roues, & devenir très-nuiſibles à la machine.

L'eſprit de nitre & la plûpart des eaux fortes ne ſe glacent point, quoique leurs parties intégrantes ne ſoient pas, ſans doute, ni ſi ténues que celles de l'eſprit de vin, ni ſi ſouples que celles des huiles qui ne ſe figent point ; mais elles ſont ſi inciſives, qu'il y a apparence qu'elles reſſemblent à des pointes de lancettes liſſes & tranchantes, qui ſe tiennent mutuellement ſéparées & en mouvement par l'effort continuel qu'elles font, à la manière des coins, contre celles de leurs voiſines qui ſeroient prêtes à ſe joindre.

Pour le mercure, il eſt très-conſtant qu'il ne ſe gèle jamais ; cependant ſes parties doivent être fort peſantes, & peut-être fort dures & fort compactes. Mais cette même dureté doit les rendre d'autant plus propres à rece-

voir un poli plus parfait; & avec cela une extrême rondeur & leur petiteſſe, qui les fait paſſer à travers les pores les plus etroits, peuvent compenſer leur peſanteur, & procurer à la matière ſubtile toutes les facilités néceſſaires pour les tenir toûjours en mouvement.

CHAPITRE XVIII.

De la Coagulation.

ON entend par la coagulation cet épaiſiſſement qui ſurvient à certains corps, ſans qu'ils perdent ſenſiblement des parties qui faiſoient leur liquidité.

Les liquides ſuſceptibles de cette modification méritent ici une attention particulière. Ce ſont ceux qui, comme les autres, ſe glacent par un froid violent, & qui de plus ſe figent & ſe coagulent, les uns par une chaleur plus ou moins grande, & les autres par un froid médiocre. Le blanc d'œuf eſt de la première eſpèce; le ſang eſt de la ſeconde: le jaune de l'œuf tient, ſi je ne me trompe, un peu de l'une & de l'autre. Ces liquides ſont très-compoſés, ou plûtôt ce ne ſont que des corps extrêmement mous, dont la ſeule partie aqueuſe & lymphatique qui les pénètre, retient la nature de liquide que nous avons décrite au commencement de cette Diſſertation.

Leurs

Leurs parties propres ou intégrantes ſont fort groſſes, & nagent dans un ſuc gliſſant qui fait toute leur liquidité, ou dans cette humeur lymphatique beaucoup plus ſubtile qu'eux. De ce mélange naît un effet ſemblable à celui de la congélation, & par une cauſe ſemblable, quoiqu'en apparence toute contraire; car au lieu que c'eſt toûjours le froid ou la diminution de mouvement de la matière ſubtile & du feu qui produit la congélation, c'eſt ici quelquefois le feu même & l'augmentation de mouvement de la matière ſubtile intérieure qui produiſent la coagulation. Mais la liqueur dans laquelle nageoient les parties intégrantes des liquides coagulés par le feu, faiſant leur liquidité, comme la matière ſubtile faiſoit la liquidité de l'eau, & de cette liqueur même dont nous venons de parler, il eſt évident que le feu qui chaſſe cette liqueur d'entre leurs interſtices, ou qui la fait évaporer, de même que le froid chaſſe une partie de la matière ſubtile qui eſt dans l'eau, il eſt, dis-je, évident que le feu produit la coagulation par la même méchanique que le froid produit la glace. Et à l'égard de ceux de ces liquides, plus ou moins compoſés, qui ſe coagulent par un froid médiocre & fort au deſſous de celui de la congélation de l'eau, il eſt évident que ce n'eſt qu'à la partie gélatineuſe ou rameuſe qui ſe trouve mêlée avec leurs parties

les plus groſſières, qu'ils doivent cette prompte coagulation. Les gelées, les ſucs des fruits & des chairs des animaux qui ſe figent le plus tard, ſont ceux où la partie aqueuſe qu'ils contiennent, ou qu'on y a mêlée, domine davantage.

La groſſeur que j'attribue aux parties intégrantes de quelques-uns des liquides qui ſe coagulent, non plus que la lymphe dans laquelle j'ai dit qu'elles nagent, n'eſt pas une ſimple conjecture. On voit ces parties & cette lymphe avec le microſcope: on voit le ſang, par exemple, couler dans les artères & dans les veines des nageoires d'un poiſſon, ou dans les membranes de quelqu'autre animal, comme de petits grains d'un rouge plus ou moins brun, qui ſont emportés dans une liqueur un peu jaunâtre, mais claire & tranſparente. Leeuwenhoek a diſcerné la figure de ces grains, en a déterminé la groſſeur, & s'eſt rendu célèbre par ſon adreſſe, ſa pénétration & ſa conſtance dans ces recherches. La partie rouge du ſang humain conſiſte en une infinité de globules, qui, ſelon cet Obſervateur, ſont vingt-cinq mille fois plus petits qu'un grain de ſable ordinaire, & par-là encore cent fois plus gros que certains animaux qu'on découvre avec le microſcope. Chacun d'eux eſt compoſé de ſix autres globules, chacun tourne ſur ſon centre; ils ſont mollets, flexibles &

pesans *(a)*, plus pesans que la sérosité qui les entraîne, quoique cette sérosité soit plus pesante que l'eau de puits, qui l'est plus que toute autre *(b)*. De la flexibilité & de la mollesse des six petits globules composans naît l'assemblage du globule total qui en est composé, non comme une grappe de six grains de groseille qui ne se toucheroient que par un point, mais comme une sphère parfaitement unie dans toute sa surface, à cela près que le contact mutuel des six globules comprimés l'un contre l'autre trace autant de figures curvilignes quadrilatères d'une égalité & d'une régularité admirables *(c)*: & de leur pesanteur commune il résulte, que dès que le sang est hors des veines, & que la sérosité dans laquelle nagent ses globules s'est un peu refroidie & a perdu son mouvement, ils tombent au fond du vaisseau, ils s'affaissent, ils s'aplatissent les uns sur les autres par leur poids, & laissent au dessus ce fluide plus subtil qui leur procuroit en partie les divers mouvemens dont ils étoient agités.

(a) Observations de Leeuwen. *(Arcana. nat. det.) sur le sang, le lait, le sel, &c.* traduites & rassemblées par M. Mesmin.

(b) Th. Schwencke, *Hæmatologia, sive sanguinis historia, &c.*

(c) Essai sur l'Analyse du sang humain, par M. Ge. Martine, parmi les *Obs. de Méd. de la Soc. d'Edimbourg, t. 2.*

Reſſouvenons-nous ici de ce monceau de ſable ou de pouſſière, que nous avons imaginé en définiſſant les fluides & les liquides, dans un vaiſſeau plein d'eau bouillante. A force de bouillir l'eau ſe diſſipe & s'en va en vapeurs; & c'eſt-là une manière dont ce tout pouvoit perdre ſa liquidité. Mais ſi l'on ôte ſeulement le vaiſſeau de deſſus le feu, l'eau qui agitoit les grains de ſable ſe refroidit, ſe calme, & le ſable tombe au fond du vaiſſeau, ce qui fait une ſeconde manière dont ce tout pouvoit ceſſer d'être liquide. Il n'en arrive ni plus ni moins à des compoſés tels que le ſang, lorſqu'ils ſe coagulent par le froid; ſinon que leurs parties intégrantes étant molles, flexibles & imprégnées outre cela de quelque ſuc glutineux, elles s'aplatiſſent & s'attachent les unes aux autres, & forment un corps mou; au lieu que les grains de ſable étant durs & ſecs, ne feroient plus, étant ſeuls, qu'un ſimple fluide. Mais ſi l'eau avoit diſſous quelque ſuc pareil contenu dans les grains de ſable, leur aſſemblage formeroit une véritable coagulation, ou, comme on dit plus généralement, une *concrétion* tout-à-fait ſemblable à celle qu'on remarque dans certaines grottes, par l'*inſtillation* de l'eau qui ſemble ſe convertir en pierre.

Le lait, qui n'eſt qu'une eſpèce de ſang encore imparfait, participe auſſi plus ou

moins à tous les accidens du ſang, par rapport à la coagulation, & par des raiſons toutes ſemblables.

La chaux vive pénétrée d'eau ou éteinte, ſe coagule preſque de même, mais s'endurcit beaucoup plus vîte étant expoſée à l'air. Le plâtre en fait à peu près autant, & ſon *endurciſſement* eſt encore plus prompt. Du reſte il eſt trop aiſé d'appliquer notre théorie à tous ces phénomènes, pour nous y arrêter davantage.

Nous avons auſſi fait entendre dès le commencement de ce chapitre, que tous les liquides qui ſe coagulent, ſoit au feu, ſoit à l'air ou au Soleil, ſoit par un froid médiocre, ſe gèlent par un grand froid, après s'être coagulés, ſe durciſſent par-là comme la glace, & forment une véritable glace, de même que tous les corps mous qui ſe trouvent imprégnés d'une ſuffiſante quantité d'humeur aqueuſe.

Je ne parlerai point de cette eſpèce de coagulation ou d'épaiſſiſſement, qui arrive à certains liquides par leur mélange avec d'autres corps, ou avec d'autres liquides; car outre que cela nous jeteroit dans un trop long détail, je ne crois pas que ces ſortes de coagulations aient beaucoup de rapport à la matière que je traite. Par exemple, lorſqu'après avoir verſé quelque acide dans les veines d'un animal, ſon ſang ſe fige &

ſe coagule, ce n'eſt apparemment ni par l'effuſion de la matière ſubtile, ou de la lymphe dans laquelle nagent les globules du ſang, ni par aucune ſécrétion des parties qui le compoſent; mais ſeulement parce que ſes globules ſe trouvant pénétrés & tout hériſſés des piquans de l'acide, comme autant de marrons dans leurs enveloppes, ils ne ſauroient plus tourner ſur leurs centres, ni gliſſer les uns ſur les autres de même qu'auparavant.

Cette idée générale de la différence des congélations, des coagulations, & des concrétions, ſelon les liquides qui en ſont le ſujet, ſuffit, ſi je ne me trompe, pour montrer que quelqu'extraordinaires qu'elles paroiſſent, elles ne s'écartent point de la théorie que j'établis dans cette première partie de mon ouvrage. J'eſpère que l'accord de mes principes ne ſe ſoûtiendra pas moins dans la ſeconde, par l'application particulière que j'en vais faire aux principaux phénomènes de la glace de l'eau, auxquels ſeuls je m'arrêterai déſormais.

SECONDE PARTIE.

Des principaux phénomènes de la Glace.

POUR garder quelqu'ordre dans l'exposition de ces phénomènes, je considérerai la Glace proprement dite, la glace de l'eau,

1° Dans ses commencemens, & dans tout le cours de sa formation.

2° Dans sa formation relativement à l'état & aux circonstances où se trouve l'eau qui se gèle.

3° Dans sa perfection ou lorsqu'elle est toute formée.

4° Dans sa fonte, & dans le dégel.

5° Et enfin dans sa formation artificielle, par le moyen des sels.

Et comme chacun de ces points de vûe fournit grand nombre de détails, d'observations & d'expériences, je diviserai cette seconde partie en autant de Sections.

SECTION PREMIE'RE.

Des phénomènes de la Glace dans ſes commencemens, & pendant tout le cours de ſa formation.

CHAPITRE PREMIER.

Des premiers filets de la Glace.

L'EAU commence à ſe geler par des filets vers ſa ſuperficie ; ces filets touchent d'ordinaire par un de leurs bouts aux parois du vaiſſeau qui la contient ; ils ſont diverſement inclinés à ces parois, ou font avec elles divers angles, rarement l'angle droit. A ces filets il s'en joint d'autres qui leur ſont de même diverſement inclinés, & à ceux-ci d'autres encore, & ainſi de ſuite, juſqu'à ce qu'ils forment un premier tiſſu de glace, qui devient toûjours plus épais à meſure que le froid continue ou qu'il augmente. Voyons les raiſons de ces phénomènes, & premièrement, pourquoi la glace commence par des filets.

Il n'y a pas de corps dans la Nature qui ſoit ſi parfaitement uniforme qu'il n'admette quelqu'interruption, ou quelqu'inégalité de parties. Quelqu'égale que paroiſſe une corde

dans toute sa longueur, il y a toûjours, physiquement parlant, un endroit plus foible que les autres par où elle rompra si elle est trop tendue. Les liquides ne sont pas exempts de cette loi générale ; ils ont, sans doute, quelques-unes de leurs parties intégrantes plus grosses, moins polies que les autres, ou plus serrées entr'elles : or il est évident, par l'explication que j'ai donnée de la formation de la glace, que c'est par-là que doit manquer leur liquidité, ou que doit commencer leur congélation. Un petit amas de ces parties moins mobiles, plus raboteuses, ou plus près les unes des autres, forme le premier glaçon : ce premier glaçon formé, les parties voisines doivent s'y attacher, & se geler plûtôt que celles qui en sont éloignées, parce qu'il leur communique une partie de sa froideur ; & voici comment je conçois que se fait une pareille communication.

Plus les parties intégrantes d'un liquide sont prêtes à se geler, plus elles sont denses & difficiles à mouvoir, plus la matière subtile trouve de difficulté à les écarter & à passer entre leurs interstices. Mais quand enfin ces parties sont une fois appliquées les unes aux autres, fixes & toûjours dans le même arrangement entr'elles, les passages deviennent à la vérité plus étroits, mais ils ne varient plus, il ne s'y fait plus d'inter-

ruption, & la matière ſubtile qui a commencé de couler par leurs interſtices & par leurs pores, peut y continuer ſon mouvement ſans obſtacle: car rien ne s'y met plus à la traverſe, comme il arrivoit à tout moment, pendant l'agitation en tout ſens des parties intégrantes du liquide, & avant la congélation. Donc la matière ſubtile embarraſſée dans les parties d'eau voiſines d'un glaçon, & entre leſquelles elle trouve plus de difficulté à ſe mouvoir, doit paſſer dans les petits canaux du glaçon, puiſqu'elle y rencontre une moindre réſiſtance & plus de facilité à continuer ſon mouvement: car, comme il a été remarqué, c'eſt une loi invariable, qu'un corps ou un fluide preſſé de tous côtés, s'échappe vers celui où il eſt le moins preſſé. Imaginons donc que ces parties d'eau voiſines viennent à former un ſecond glaçon qui s'attache au premier; leur jonction produira une longueur ſelon laquelle la matière ſubtile a de plus longs canaux à parcourir, & par conſéquent plus de facilité à continuer ſon mouvement, qu'elle n'en avoit dans un ſeul: c'eſt pourquoi il s'y en attachera bien-tôt d'autres en même ſens, & à ceux-ci d'autres encore, ce qui formera cette petite chaîne ou ces filets, par où l'on voit toûjours commencer la glace lorſqu'on l'obſerve attentivement.

Les deux premiers glaçons formés, il n'y

a pas de difficulté que les autres ne doivent s'attacher à eux bout-à-bout ; mais il ſemble qu'on pourroit concevoir qu'il s'en devroit former d'abord pluſieurs à la fois autour du premier, leſquels feroient autant de rayons dont il ſeroit le centre ou le noyau. Or de-là naîtroient toûjours des pelotons de glace & non des filets ; & l'on voit auſſi que cela arrive aux liquides dont on a lieu de croire que les parties intégrantes ſont rondes ou cubiques, ou même crochues & rameuſes. D'où il eſt naturel de croire que les parties intégrantes de l'eau ſont oblongues ; de la même manière qu'on conjecture les configurations des parties intégrantes des ſels d'après les cryſtalliſations ſalines. Il eſt clair qu'un paquet d'une vingtaine de bâtons de cire d'Eſpagne, par exemple, ou de fuſeaux, laiſſeroit plus de paſſage à l'air ſelon ſa longueur que ſelon ſa largeur. De même les premiers glaçons, qui ne ſont autre choſe que de ſemblables paquets en petit, laiſſant beaucoup plus d'ouverture à la matière ſubtile ſelon leur longueur que ſelon leur largeur, doivent ſe joindre entr'eux bout-à-bout plûtôt qu'en aucun autre ſens.

Les premiers filets de glace ſont couchés horizontalement ſur la ſurface de l'eau, parce que la ſurface eſt plus expoſée au froid que le dedans, & que, ſelon l'explication que j'ai donnée de la formation de la glace en

général, c'eſt par les extrémités du liquide que la congélation doit commencer; & de plus, parce qu'en quelqu'endroit que ſe forment les filets, lorſque la congélation n'eſt pas extrêmement prompte, ils ont le temps de monter à la ſurface ſupérieure, étant plus légers qu'un pareil volume d'eau, comme je le montrerai dans un des chapitres ſuivans: c'eſt pour cela que lorſque ces filets ſe trouvent un peu plus plats & plus tranchans d'un côté que de l'autre, par exemple, comme des lames de canif, le dos de la lame eſt toûjours en haut, & le tranchant en bas; & ce dos de lame forme une eſpèce d'arête obtuſe un peu élevée ſur le niveau de l'eau.

Ces premiers filets tiennent d'ordinaire par un de leurs bouts aux parois du vaiſſeau, par la raiſon que j'ai dite ci-deſſus, que la congélation doit plûtôt commencer par les extrémités, & par conſéquent plûtôt vers les endroits plus minces, que vers ceux où il y a une grande épaiſſeur d'eau à traverſer. Car comme la ſurface ſupérieure eſt la partie du liquide la plus expoſée au froid, les bords de cette ſurface près des parois du vaiſſeau, ſont ce qu'elle a de plus aiſé à pénétrer par le froid: ſans compter que l'eau y retient toûjours moins de mouvement que par-tout ailleurs, à cauſe de ſon adhéſion aux parois du vaiſſeau.

Mais j'y trouve encore une autre raiſon, & je dis, que quand même les filets ſe formeroient vers le milieu de la ſurface, ils iroient bien-tôt d'eux-mêmes s'attacher aux parois de la plûpart des vaiſſeaux où l'on a coûtume de faire ces expériences. Pour le prouver, je ſuppoſe qu'on ſoit inſtruit d'un phénomène aſſez curieux, qui ſe trouve décrit dans quelques Traités de Phyſique *. C'eſt que tout corps qui nage ſur l'eau, qui ſe mouille facilement, ou contre lequel l'eau s'applique, va toûjours ſe joindre aux parois du vaſe qui contient l'eau, en quelqu'endroit de la ſurface qu'on le mette, lorſque le vaſe eſt lui-même mouillé par cette eau, & qu'il n'en eſt pas tout-à-fait plein. Au contraire, ce corps viendroit toûjours des parois vers le centre de la ſurface, ſi le vaſe étoit enduit par dedans d'huile, de ſuif, ou de telle autre matière qui ne s'unit pas aiſément avec l'eau. Donc il eſt évident qu'en quelqu'endroit de la ſurface de l'eau que ſe trouvent les premiers filets de glace, ils doivent s'aller attacher aux parois du vaiſſeau : & cette ſeconde raiſon eſt ſi eſſentielle, que l'effet ceſſe dès qu'elle n'a plus lieu, quoique la première ſubſiſte : car j'ai vû très-ſouvent

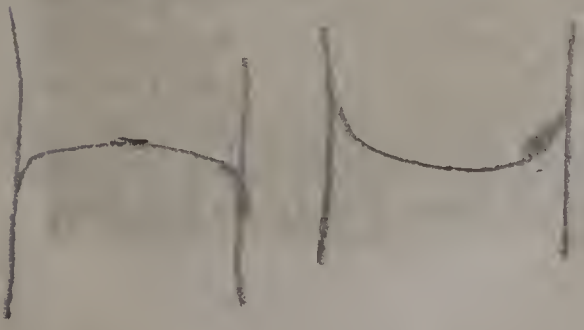
* Mariotte, *Mouvem. des Eaux*, p. 119. & Fr. Bayle, *Phyſ. general. part. 1, diſp. 7, prop. 21, probl. 8.*

de ces premiers filets de glace flottans au milieu de la ſuperficie de l'eau d'un vaſe dont les parois intérieures avoient été enduites de quelque graiſſe, les uns formés vers le milieu & s'y arrêter, quelques autres formés contre les parois & s'en détacher pour aller vers le milieu, ſi-tôt qu'ils avoient acquis une certaine grandeur. Lorſqu'on remplit le vaſe juſque par-deſſus les bords, en ſorte que l'eau monte une ou deux lignes au delà, le corps flottant & mouillé qu'on y fait nager va toûjours vers le milieu de la ſurface, de même que ſi le vaſe n'étant pas plein avoit été frotté d'huile ou de ſuif en dedans; car dans ces deux cas la ſurface de l'eau eſt également convexe vers les bords. Mais l'effet n'en eſt pas toûjours le même par rapport aux filets de glace; ceux qui ſont formés vers le milieu y demeurent, mais ceux des bords ne s'en détachent pas pour paſſer vers le milieu, ſur-tout lorſque le vaſe eſt de verre ou de quelqu'autre matière dure. C'eſt que la matière ſubtile qui paſſe dans les pores du verre & dans ceux du filet de glace déjà formé contre le verre, s'y meut à peu près de la même manière; au lieu que la graiſſe ou l'huile étant fort hétérogènes au verre & à la glace par la configuration de leurs pores, la matière ſubtile ne ſauroit paſſer uniformément des uns dans les autres; & peut-être qu'elle s'y repouſſe de part &

d'autre d'une manière tout-à-fait ſemblable à ce qu'on croit qu'il arrive lorſqu'on préſente deux pierres d'aimant l'une à l'autre par le même pole.

Ces mouvemens intérieurs ou extérieurs d'un fluide ſubtil, par rapport à des corps ou des corpuſcules quelconques, & l'eſpèce d'atmoſphère que ce fluide forme autour d'eux, qui repouſſe les uns & qui s'accroche aux autres, quelqu'hypothétiques qu'ils paroiſſent, ne doivent point ſurprendre, & ſont admis par les Phyſiciens les plus habiles, & ſur-tout par ceux que des expériences auſſi nombreuſes que délicates ont rendu célèbres *. Mille phénomènes en décèlent l'exiſtence, que nous nous contentons d'employer ici par voie de ſuppoſition.

* Newton, *Opt. l. 2. part. 3. pr. 8, &c.* Boyle, De Atmoſphæris corporum conſiſtentium, *ubi oſtenditur corpora etiam dura & ſolida (& nonnulla talia, quæ quis vix ſuſpicaretur) emittendis effluviis, adeòque habendis atmoſphæris, apta eſſe.* Entre une infinité de phénomènes, ceux de la Réfraction de la Lumière, & ſur-tout de ſa Diffraction, prouvent ſenſiblement la réalité de ces atmoſphères, ſur quoi voy. Mém. de l'Acad. des Sc. 1738, *p. 53.*



CHAPITRE II.

Comment les filets de glace se joignent aux parois du vaisseau & entr'eux, & des figures qui en résultent.

Les premiers filets de glace sont diversement inclinés aux parois du vaisseau, ou font avec elles divers angles, & rarement l'angle droit; de sorte que si le vaisseau est rond, comme un gobelet, par exemple, ils représentent des parties de cordes du cercle, & non des portions de diamètres. La première raison qui s'en offre à l'esprit, c'est que l'angle droit étant unique, & tous les autres, sans cesser d'être obtus ou aigus, pouvant varier à l'infini, de plusieurs aiguilles qui sont jetées au hasard sur un cercle, la plus grande partie doit faire divers angles aigus & obtus avec les tangentes des points de la circonférence où elles ont un de leurs bouts, & très-peu d'entr'elles doivent faire l'angle droit. Mais si cette raison avoit lieu, il y auroit un plus grand nombre d'angles fort aigus & de filets couchés contre les parois, qu'on n'en voit ordinairement : car j'ai remarqué que ces angles ne sont presque jamais au dessous de celui de 30, ou même de 60 degrés qu'ils affectent plus que tout autre; ce qui mérite assurément beaucoup

d'attention *, & dont nous ferons bien-tôt un ou plusieurs articles à part.

A ces premiers filets il s'en joint de seconds qui leur sont diversement inclinés, par les mêmes raisons & de la même manière que les premiers s'étoient joints aux parois du vaisseau. Il faut seulement remarquer que de seconds filets s'étant formés tout auprès d'un des premiers, ils ne s'y attachent, que parce qu'ils le rencontrent plûtôt que les bords du vaisseau ; & apparemment ils s'y attachent entre les bouts & à la suture des petits paquets de parties intégrantes d'eau, qui composent la chaîne ou le filet ; car la matière subtile les peut plûtôt traverser par ces endroits que par tout autre.

A ces seconds il s'en joint d'autres encore, & ainsi de suite jusqu'à l'entière formation d'une pellicule de glace. Il est rare néanmoins qu'on puisse apercevoir ces filets au delà des troisièmes ou des quatrièmes, parce qu'ils se trouvent si courts, si petits & si près les uns des autres, qu'ils ont achevé un tissu presqu'uniforme avant que d'avoir acquis la grosseur nécessaire pour produire

* M. Perrault avoit déjà observé que les filets de glace se joignoient aux parois du vaisseau sous un angle oblique, & jamais à angles droits, ni approchant de l'angle droit, du moins à en juger par la figure qu'il en donne dans le 4me de ses *Essais de Physique*, p. 330.

des réfractions différentes de celle de l'eau, ou pour être visibles *.

Pour voir ce premier canevas de la glace, il faut exposer de l'eau à une gelée fort lente, l'observer de temps en temps, & quand la première pellicule aura acquis l'épaisseur d'environ une demi-ligne, la percer vers les bords de la jatte ou du vase, & faire écouler l'eau de dessous par inclination, en sorte que cette petite croûte demeure seule & tendue au dessus, comme une toile d'araignée. Je me suis servi le plus souvent d'un grand vaisseau plat, qui étoit d'une couleur obscure en dedans, & qui avoit un ou deux trous vers le fond. Par ce moyen j'ai mieux distingué les filets de glace, après en avoir vuidé l'eau de dessous plus commodément, & sans les endommager. Mais je dois avertir qu'il règne une variété prodigieuse dans la grandeur, le nombre, l'assemblage & les figures de ces filets; & que, quelque soin qu'on y apporte, il est bien difficile de rencontrer deux congélations semblables. Souvent ce ne sont que des figures irrégulières, qui ne réveillent l'idée de rien de connu. Quelquefois plusieurs amas de filets parallèles ressemblent aux desseins d'une rase campagne, qui n'est variée que par des champs diversement sillonnés : ici un premier filet fort gros, qui en a à ses côtés

* *V. Planche I* à la fin du volume.

un grand nombre de ſeconds couchés de part & d'autre uniformément, repréſente une plume avec ſes barbes : là quelques filets qui n'auront pû parvenir aux parois du vaiſſeau, ni ſe coucher contre quelque grand filet, ſe rangeront autour d'un centre en forme d'étoiles, ou décriront une croix de Malte façonnée par les bords, & mille autres figures, ſelon les circonſtances qui les y déterminent *. Mais les figures qui me paroiſſent les plus fréquentes ſont celles de morceaux de feuille, ou quelquefois de feuilles entières. Le premier filet de glace, qui eſt ordinairement le plus gros, forme la queue ou la côte de la feuille ; les ſeconds qui s'attachent par un de leurs bouts latéralement au premier, & les troiſièmes qui s'attachent de même à ceux-ci, repréſentent les autres petites côtes, la nervûre, les veines & ce réſeau qu'on voit au dos de la plûpart des feuilles. Il n'eſt pas juſqu'à leurs découpures, qui n'y ſoient exprimées très-diſtinctement, mais toûjours avec beaucoup de variété ; les unes à anſe de panier, les autres en tiers-point & à dent deſcie, comme des feuilles d'ortie, ou de roſier.

Ces dentelures ſont formées par les extrémités & les pointes des ſeconds filets

* La figure de la Planche I tient un milieu entre ces congélations les plus façonnées & celles qui le ſont le moins. Elle a été deſſinée d'après Nature.

attachés à un des premiers ; car les troiſièmes & les quatrièmes filets qui rempliſſent leurs intervalles, & qui achèvent le réſeau, commencent toûjours près de la côte, où il y a plus de glace, & où les ſeconds filets ſont plus gros & plus ſerrés ; & ſi en cet état ces feuilles ainſi formées viennent à s'élever un peu au deſſus de la ſurface de l'eau, parce qu'elles ſont plus légères que l'eau, elles demeureront pendant quelque temps diſtinguées de tout le reſte de la pellicule de glace qui ſe fait aux environs. Car les glaçons voiſins ne ſe mettent guère à un niveau ſi exact avec elles, qu'ils ne ſoient un peu plus ou un peu moins élevés ſelon leur différente groſſeur: mais à meſure que la glace ſe fait plus épaiſſe, ces inégalités deviennent imperceptibles, parce qu'elles ne ſont quaſi rien par rapport à une épaiſſeur conſidérable, & que les réfractions de la lumière ſe trouvent par-tout ſenſiblement uniformes. On verra dans la ſuite de cette Diſſertation, la raiſon que j'ai eue d'expliquer les figures de feuille qui ſe voient légèrement tracées ſur la glace, plus particulièrement que toutes les autres. Du reſte, les découpures des glaçons plats ſont ſi ordinaires, qu'on n'en arrache guère, qu'on ne les trouve tout dentelés au deſſous ou à côté, comme de petites ſcies.

CHAPITRE III.

Des bulles d'air qui se forment dans l'eau quand elle commence à se geler, & des divers effets qu'elles y produisent.

ENTRE les accidens qui arrivent à l'eau avant que de se geler, & pendant qu'elle se gèle, un des plus remarquables & des plus visibles, est qu'il en sort une grande quantité d'air.

L'eau contient beaucoup d'air, cela est constant par mille expériences, mais sur-tout par la formation de la glace. Car à mesure que l'eau approche de la congélation, il s'y fait une espèce de bouillonnement à l'occasion des parties d'air qui en sortent, ou qui se détachent d'entre ses interstices. Cet air divisé auparavant en une infinité de petites parcelles répandues uniformément dans le liquide, venant à se rassembler par leur rencontre, & à se trouver en cet état plus comprimé vers les endroits où la congélation commence, que du côté où elle est plus retardée, s'échappe de ce côté-là, s'y assemble de nouveau, & y forme des bulles si visibles, qu'elles ont quelquefois jusqu'à 2 ou 3 lignes de diamètre : car toute masse sensible d'air enfermée dans l'eau doit y prendre une forme sphérique, par la force

de ſon reſſort qui pouſſe l'eau également de tous côtés. Les bulles d'air paroiſſent d'ordinaire plus groſſes vers le centre & vers l'axe du vaiſſeau, que vers les bords & la ſuperficie de la glace; mais elles ſont communément en plus grand nombre vers le fond & près des parois intérieures, d'où elles ſemblent quelquefois partir, & y tenir par une queue, en forme de larmes dont la tête eſt tournée vers l'axe; parce que c'eſt par les bords, par la ſuperficie & par les parois minces du vaſe, que le refroidiſſement & la congélation du liquide commencent.

J'ai vû quelquefois un grand nombre de bulles d'air engrumelées vers le côté du vaiſſeau où la congélation a été moins prompte, & y former comme une grappe de raiſin, dont les grains ſeroient fort ſerrés.

Quand l'eau ne ſe gèle pas promptement, une partie des bulles d'air, qui ſont toûjours plus légères que l'eau, ont le temps de monter du fond vers la ſuperficie, & de ſe dégager de l'eau, pourvû que la pellicule de glace ne ſoit pas encore formée; mais ſi la congélation eſt prompte, la ſurface & les bords de l'eau ſe trouvant tout-à-coup extrêmement condenſés dans une grande épaiſſeur, compriment & chaſſent avec violence vers le fond & vers le centre la plus grande partie de l'air qui étoit em-

barraſſé entre leurs interſtices : il en ſort néanmoins quaſi toûjours quelque peu, avant que la croûte de glace ſoit tout-à-fait achevée ; & cela eſt même d'autant plus viſible, que la congélation eſt plus prompte. C'eſt que cette promptitude contribue à produire de plus groſſes bulles d'air, & plus capables par-là de s'élever, & de diviſer le liquide malgré ſa condenſation. Ainſi lorſque la congélation eſt prompte, il ſort très-peu d'air de l'eau, mais les bulles d'air qui en ſortent ſont plus groſſes ; & au contraire quand la congélation eſt lente, il ſort un très-grand nombre de bulles d'air, mais fort petites.

Nous ne parlons ici que de ce qui arrive communément & preſque toûjours, lorſque l'art ne s'en mêle pas : car il y pourroit avoir telle congélation ſi ſubite, que les particules d'air engagées dans l'eau n'auroient pas le temps de s'en dégager, & que la glace qui en réſulteroit ne nous montreroit d'abord, & de quelques heures, aucunes bulles ſenſibles. Mais elles y naiſſent bien-tôt après, & vont même toûjours en augmentant de groſſeur & de nombre; comme nous le remarquerons plus particulièrement en ſon lieu.

Il y a auſſi d'autres bulles d'air dans la glace, qu'on ne diſtingue qu'avec une loupe ou avec un microſcope, & elles s'y trouvent preſque toûjours répandues en très-grande quantité ;

car l'eau qui approche de la congélation, après avoir pouſſé vers le côté le moins denſe les premières parcelles d'air qui forment les bulles viſibles, ne laiſſe pas d'en retenir encore beaucoup qui ne s'aſſembleront que lorſque la condenſation ſera devenue plus grande. Mais comme dans ce dernier période les parties intégrantes du liquide ſont beaucoup plus difficiles à mouvoir, & qu'il y en a même pluſieurs qui commencent à ſe fixer, les parcelles d'air ne peuvent plus s'aſſembler en ſi grand nombre, parce qu'elles ne ſauroient plus aller ſi loin ſe groſſir de leurs pareilles; ainſi elles ne doivent plus former par-tout que de petits globules imperceptibles.

Lorſqu'on met geler de l'eau dans un vaſe profond & étroit, tel que ſeroit un vaiſſeau cylindrique deux ou trois fois plus haut que ſa baſe, l'air qui s'amaſſe vers l'axe & vers le fond, s'y trouve d'ordinaire en ſi grande quantité, qu'il a la force non ſeulement de remonter, mais encore de rompre le milieu de la première croûte de glace qui s'étoit formée ſur l'eau. C'eſt cet effort de l'air qui rend ordinairement le milieu de la ſuperficie de la glace plus élevé que les bords; & cela arrive ſur-tout lorſque les bulles d'air ne commencent à monter que quand la glace eſt médiocrement épaiſſe. Si elles montent auparavant, elles rompent le milieu

milieu de la croûte, & l'entretiennent ainſi ouverte preſque juſqu'à la congélation de toute l'eau ; & comme en ſortant elles entraînent toûjours un peu d'eau avec elles, il ſe forme d'ordinaire en cet endroit une boſſe ou un monticule plus ou moins haut, ſelon que l'air eſt ſorti avec plus ou moins de violence.

Lorſque le vent ſouffle ſur le liquide pendant la congélation, il ſe forme auſſi une petite éminence à ſa ſuperficie, non au milieu, mais à côté & vers la partie du vaiſſeau qui regarde le deſſous du vent, parce que l'eau y eſt continuellement pouſſée.

Enfin on voit arriver rarement ces effets, ou d'une manière moins marquée, lorſque la congélation eſt très-lente & à l'abri du vent ; & auſſi lorſqu'on a fait bouillir pendant quelques heures l'eau qu'on veut expoſer à la gelée.

Dans le premier cas, c'eſt qu'une plus grande quantité d'air a eu le temps de ſortir peu à peu, & que les bulles n'en ſont pas ſi groſſes, le mouvement intérieur du liquide n'ayant été ni ſi ſubit, ni ſi violent.

Dans le ſecond, c'eſt que le feu a chaſſé une grande partie de l'air qui étoit contenu dans l'eau, & que cette eau encore chaude ou tiède, & ainſi expoſée à la congélation, donne plus de temps à l'air qui y reſte pour s'échapper, & retarde ou affoiblit d'autant le trouble intérieur de la congélation.

CHAPITRE IV.

Augmentation du volume de l'eau quand elle approche de ſa congélation, & pendant ſa congélation.

PAR la théorie générale que nous avons donnée des liquides, & de la formation de la glace, tout liquide doit ſe reſſerrer à meſure qu'il ſe refroidit, & occuper moins d'eſpace, ou devenir plus peſant par rapport à ſon volume. Ainſi lorſqu'il eſt prêt à ſe geler, & à plus forte raiſon, lorſqu'il ſe gèle, ſes parties doivent être plus proches les unes des autres que jamais, & former un moindre volume. La cire, les huiles, la graiſſe, les métaux fondus, à l'exception du fer*, ſuivent tous cette loi générale, ils occupent moins de volume à meſure qu'ils ſe refroidiſſent, & moins encore lorſqu'ils ſont figés. L'eau & la plûpart des liqueurs aqueuſes ne s'en écartent point juſqu'aux momens qui précèdent la congélation, elles perdent de leur volume, & acquièrent, en ce ſens, d'autant plus de poids qu'elles ſe refroidiſſent davantage. Mais quand cette froideur eſt enfin parvenue

* Mém. de M. de Reaumur, dans le vol. de l'Acad. 1726, *p.* 273.

juſqu'au point qui va produire leur congélation, elles ſortent totalement de la règle, elles ſe dilatent, & diminuent de poids par rapport au volume.

Comme c'eſt-là un des plus importans & des plus curieux phénomènes de la glace, & qui en comprend pluſieurs autres, nous allons tâcher de le bien conſtater, d'en découvrir la cauſe, & de l'expliquer dans toute l'étendue qu'il mérite.

Pour vous convaincre de ſa réalité, prenez une bouteille de verre à long col aſſez étroit, rempliſſez-là d'eau médiocrement froide, juſque vers le milieu de ce col, faites-y une marque vis-à-vis la ſurface de l'eau, & expoſez le tout à la gelée. Vous verrez l'eau deſcendre peu à peu au deſſous, juſqu'à trois ou quatre lignes, juſqu'à un pouce ou à pluſieurs pouces, ſelon que la bouteille eſt plus grande & que ſon col eſt plus étroit, & plus ou moins vîte, ſelon que la gelée eſt plus ou moins forte. Bien-tôt après la ſurface de l'eau s'y arrêtera & demeurera ſtationnaire pendant quelques momens; après quoi elle remontera peu à peu, juſqu'à la marque, & paſſera enfin au delà, plus ou moins par rapport à la deſcente, ſelon que le degré de froideur où elle étoit au commencement ſe trouvoit plus ou moins inférieur à celui de la congélation dont elle approche dans cet inſtant.

L'eau qui approche de la congélation & celle qui ſe glace actuellement, occupent donc plus d'eſpace, & deviennent par-là plus légères qu'un pareil volume d'eau médiocrement froide. Et à l'égard de l'eau actuellement glacée, & qui repréſente l'état où elle étoit l'inſtant d'auparavant par rapport au volume, on en a une preuve ſans replique, puiſqu'elle y nage toûjours deſſus, & que les glaçons qu'on met au fond d'un vaiſſeau plein d'eau, ou au fond d'une rivière, montent toûjours vers la ſuperficie.

Une ſuite de cet effet, ou une ſeconde preuve de l'augmentation de volume, auſſi inconteſtable que la précédente, & qui montre en même temps l'effort de l'eau ou de la glace pour ſe dilater, eſt la rupture ordinaire des vaiſſeaux où elle eſt contenue, lorſqu'ils ſont étroits par le haut, & que la congélation eſt aſſez prompte pour ne pas donner le temps à l'air de ſortir, & aux parties de l'eau de s'ajuſter les unes ſur les autres, de ſoûlever peu à peu la croûte ſupérieure de la glace, ou de la *voiler* & la rendre convexe par ſon milieu. Car ſi, par exemple, le vaiſſeau où ſe fait la congélation étoit fort grand, & plat comme un baſſin, on voit bien que quelque forte que fût la glace, & quelque adhérente qu'elle fût aux bords du baſſin, elle devroit plier aiſément par le milieu de la croûte ſupérieure,

& faire place d'autant au gonflement intérieur ; de même qu'une barre de fer, quelque groſſe qu'elle puiſſe être, ne laiſſe pas de céder par ſon milieu, lorſqu'elle eſt fort longue, & qu'elle n'eſt ſoûtenue que par ſes deux bouts. Et ſi le vaiſſeau, quoique petit & profond, ſe trouvoit beaucoup plus large par l'ouverture que par le fond, s'il étoit évaſé ou conique, & tel que la plûpart de nos verres à boire, tout l'effort de la congélation ne tendroit qu'à pouſſer la glace vers le haut du vaiſſeau, en la détachant de ſes parois, & la faiſant gliſſer vers la partie évaſée. Auſſi lorſqu'on fait geler un verre d'eau tout plein, la glace remonte ſi fort, qu'elle paſſe quelquefois les bords du verre de 2 ou 3 lignes. Il n'y a guère que ces circonſtances, ou une épaiſſeur extraordinaire, par rapport à la petite quantité d'eau, qui empêchent le vaiſſeau de crever.

Quant à la meſure de cette dilatation, & de ſa force pour ſurmonter les obſtacles qui s'y oppoſent, nous en parlerons plus particulièrement dans un des chapitres ſuivans.

Voilà donc un effet bien conſtant que celui de l'augmentation de volume de l'eau qui ſe glace : cependant bien loin qu'il y ait aucune nouvelle introduction de matière, il en ſort beaucoup d'air en bulles très-viſibles, comme il a été remarqué ci-deſſus. Et

à l'égard de la matière éthérée contenue dans le liquide, & qui environne les parties intégrantes de l'eau, ou remplit leurs interstices, nous avons vû par la théorie générale de la formation de la glace, qu'au lieu d'augmenter à mesure qu'il se refroidit, elle doit diminuer de quantité, de volume & de ressort. Il faut donc que le changement qui arrive au liquide à cet égard, pendant la congélation, consiste en quelque disposition de parties, soit de l'eau, soit de l'air qui y est contenu, différente de ce qu'elle étoit auparavant.

CHAPITRE V.

Trois causes de l'augmentation de volume de l'eau pendant la congélation. Première cause, les bulles sensibles d'air qui s'y forment.

PLUSIEURS causes peuvent concourir à l'augmentation de volume dans l'eau qui se glace.

1° Les bulles d'air qui s'assemblent dans l'eau pendant la congélation.

2° Le dérangement qui survient aux parties intégrantes de l'eau, par la sortie ou par le dégagement de l'air d'entre ses interstices.

3° Le dérangement des parties intégrantes

de l'eau par la manière différente dont elles ſe grouppent entr'elles, en vertu d'une tendance qu'elles ont, ou qui leur eſt imprimée en ce moment, à s'incliner les unes vers les autres ſous un angle ſenſible.

L'explication de la première de ces cauſes va faire le ſujet de ce Chapitre : elle mérite d'autant plus d'attention, que bien qu'elle ait été depuis long temps & pluſieurs fois employée, perſonne, que je ſache, ne l'avoit encore ramenée à ſes vrais principes.

Si l'air contenu dans l'eau y étoit diviſé en ſi petites parcelles qu'elles pûſſent ſe loger dans les interſtices des parties de ce liquide, ſi ces molécules d'air y prenoient la figure de ces interſtices, ou enfin ſi en cet état elles y étoient ſans reſſort, il ſeroit aiſé de concevoir comment aſſemblées enſuite en groſſes bulles ſenſibles, par l'ébullition ou par la congélation, elles y occupent plus d'eſpace & en dilatent la totalité. Pluſieurs brins de laine ſéparés, ou entortillés & exactement couchés ſur des fuſeaux, n'y feront pas la centième partie du volume qu'ils peuvent faire dans un amas fortuit & tel que celui de la laine cardée. Dans le premier cas on n'a quaſi d'autre volume que celui de la matière propre de la laine ; dans le ſecond il y faut ajoûter les vuides & les intervalles que les brins de laine irrégulièrement aſſemblés & tortillés laiſſent entr'eux. Mais outre que je

n'oſerois aſſurer que l'air contenu dans les liquides y ſoit totalement deſtitué de reſſort, l'induction que je prétends tirer de la groſſeur des bulles d'air qui ſe forment dans l'eau pendant ſa congélation, n'en ſera que plus forte, ſi je fais voir que, ſuppoſé même que cet air y fût auparavant ſous la forme ſphérique, & avec tout ſon reſſort, ſon énergie pour en augmenter le volume doit être d'autant plus grande, qu'il s'y trouve aſſemblé en plus groſſes bulles.

Il ne s'agit donc que de ſavoir comment la groſſeur des bulles peut opérer cet effet. Comment une bulle d'air, par exemple, qui s'eſt formée de 100 petites bulles, auparavant diſperſées dans l'eau, a plus de force & d'intenſité pour ſe dilater & pour écarter les parties de l'eau, que les 100 petites bulles n'en avoient étant diſperſées çà & là. La force de la groſſe bulle ou goutte d'air eſt-elle autre choſe que la ſomme des forces des 100 petites gouttes? Quelle addition de force leur réunion a-t-elle pû y apporter?

Remarquons, 1° Que, toutes choſes d'ailleurs égales, la force des bulles d'air en général, pour réſiſter à la preſſion de l'eau, eſt fondée ſur leur courbure uniforme ou ſur leur ſphéricité qui leur fait ſoûtenir également cette preſſion par tous les points de leur ſurface, & par le moyen de laquelle toutes les parties élaſtiques qui les compoſent

s'arcboutent mutuellement vers le centre.

2° Que l'avantage de la groſſe bulle ſur la petite conſiſte, & dans ſa moindre ſurface à raiſon de ſa ſolidité, étant, par exemple, huit fois auſſi groſſe, ſi elle a un diamètre double de celui de la petite, n'ayant que quatre fois autant de ſurface; & dans ſa moindre courbure, à raiſon de ſon plus grand diamètre, les courbures des cercles ou des ſphères étant entr'elles en raiſon inverſe de leurs diamètres.

3° Que ſans ces circonſtances les forces de leurs expanſions ſeroient égales, par ce principe, que pluſieurs reſſorts égaux appuyés les uns ſur les autres ne ſoûtiennent pas un plus grand poids qu'un ſeul, & qu'ainſi les deux ſurfaces planes & parallèles d'un grand & d'un petit cube, par exemple, qui ſeroient remplis d'air, réſiſteroient ou céderoient également à la preſſion du liquide qui agiroit contre elles, ou, ce qui revient au même, que cette preſſion feroit bien-tôt prendre à l'une & à l'autre de ces deux maſſes d'air cubiques & anguleuſes la figure ſphérique, la ſeule qui puiſſe établir l'équilibre de toutes parts entre le liquide environnant & le fluide environné. Et c'eſt la raiſon pourquoi tout fluide ou tout liquide ſuſpendu dans un autre qui ne le diſſout point, y prend toûjours, ou tend toûjours à y prendre la figure ſphérique.

4° Qu'il s'agit ici de l'intenſité d'une force contre un point pour y ſoûlever un poids donné, ou vaincre une force contraire, & non de ſon extenſité, ou de la ſomme égale de pluſieurs forces diſperſées : car 100 reſſorts, par exemple, rangés à côté les uns des autres ſur un plan, & capables d'y ſoûtenir un autre plan chargé d'un poids de 100 livres, à raiſon d'une livre par reſſort, ne repouſſeront jamais aucun des points du plan ſupérieur avec une force de 2 livres, & encore moins de 100 livres; ce que fera un ſeul reſſort qui a le centuple de force. Or ce plan ſupérieur devenu flexible en tous ſes points, & cédant à l'impulſion de chaque reſſort, repréſentera le cas du liquide comprimant qui environne les bulles d'air.

5° Enfin, que le principe des forces centrifuges, toûjours plus grandes en raiſon inverſe des diamètres des cercles ou des ſphères, n'a pas lieu ici, n'étant point queſtion d'un mouvement circulaire ou *vortical* autour d'un centre ou d'un axe, mais ſeulement d'une tendance de parties du centre vers la circonférence ou vers la ſurface ſphérique, & qui s'exerce dans le repos de ces parties indépendamment de tout mouvement circulaire : car dans le cas de ce mouvement, & abſtraction faite du reſſort, la petite bulle auroit plus de force pour ſe dilater que la grande.

Mais enfin, & tout cela posé, par quel principe la grande bulle d'air a-t-elle plus de force pour se dilater que la petite, de cela seul que sa surface est moins courbe ou moins convexe?

On sait que de deux cordes d'égale longueur, mais inégalement tendues, & sur chacune desquelles on auroit appliqué un poids égal, ou une infinité de poids égaux & dont les sommes seroient égales, celle des deux cordes qui fléchiroit le moins, qui se courberoit le moins, ou qui feroit les angles les plus obtus à chaque point de la suspension d'un poids, seroit la plus tendue; ou, réciproquement, que toute corde plus tendue qu'une autre qui lui est égale, sera moins courbée par les poids qu'on y appliquera, pourra soûtenir de plus grands poids, sans se courber davantage, ou aura plus de force pour repousser des poids égaux, & résister à des impulsions égales.

Appliquons ce principe à deux surfaces, qu'on peut concevoir comme composées d'une infinité de lignes, ou de filets, si on les suppose de quelque épaisseur, comme des toiles. Nous dirons de chacun de leurs points physiques ou des filets indéfiniment petits qui les composent, ce que nous venons de dire des deux cordes, cette surface sera d'autant moins courbée par des impulsions égales, qu'elle sera plus tendue. Et comme

la ſurface entière de chacune des deux bulles n'eſt que la ſomme de tous ſes points phyſiques, on en conclura de même, que la bulle dont la ſurface eſt moins courbe ou moins convexe, c'eſt-à-dire, la plus groſſe bulle, doit avoir plus de force que la petite, pour ſe dilater, ou pour crever par ſa ſurface, ou, ce qui revient au même, pour écarter les parties du liquide ambiant, & en augmenter le volume; quoique l'air qui la gonfle & qui en diſtend la ſuperficie n'ait pas plus d'élaſticité que celui qui gonfle & qui diſtend la ſuperficie de la petite.

Les grandes bulles d'air qui ſe forment dans l'eau pendant ſa congélation ont donc plus de force pour ſe dilater, & pour en augmenter le volume, que les petites, ou que n'en avoit le même air ſubdiviſé en une infinité de petites bulles diſperſées dans toute la maſſe du liquide; & ceci doit s'entendre également des bulles imperceptibles comparées les unes aux autres, & entre leſquelles il peut y avoir de très-grandes différences de petiteſſe. Donc, &c.

Cette explication, ou plûtôt cette démonſtration ſuffit pour ceux qui ne voudront pas entrer dans le détail géométrique, & la note * qu'on trouvera ci-deſſous y ſuppléera pour les autres.

* Toute cette théorie étant, comme on voit, réductible à celle de deux cordes égales, *ABC*, *DEF*,

Revenons préſentement à la manière dont l'air eſt contenu dans l'eau & inviſiblement mêlé avec elle pendant ſon état de liquidité. Car s'il y eſt logé dans les interſtices des parties intégrantes du liquide, & ſous une forme moins favorable à l'action de ſon reſſort, que la forme globuleuſe ou ſphérique, comme nous l'avons déjà inſinué, tout ce que nous venons de dire des bulles d'air, par rapport à l'augmentation de volume de l'eau qui ſe glace, acquiert une nouvelle force.

(Planche II, numéro 1, à la fin du volume) arrêtées par leurs bouts, différemment tendues, & au milieu de chacune deſquelles on auroit ſuſpendu un poids égal, *P, Q;* ſoient les deux cordes imaginées comme deux arcs infiniment petits d'un grand cercle de chacune des ſphères ou bulles dont on veut comparer les forces, ſavoir, *ABC* de la grande, & *DEF* de la petite: ou, ce qui revient au même, ſoit imaginée chacune de ces cordes ainſi chargée d'un poids, comme deux côtés infiniment petits, *AB, BC,* & *DE, EF,* du cercle correſpondant, & ſoit *AB* prolongé en *T,* & *DE* en *X.* On ſait par les principes de Statique, que le poids *P* eſt à la force avec laquelle la corde *ABC,* ou la moitié *AB* ou *CB,* eſt tendue, comme le ſinus de l'angle *TBC* eſt au ſinus de l'angle *CBH;* & que le poids *Q* eſt à la tenſion de la corde *DEF,* ou de chacune de ſes moitiés, comme le ſinus de l'angle *XEF* eſt au ſinus de l'angle *FEI.* Suppoſé maintenant, comme il ſuit de l'hypothèſe, que les angles *TBC, XEF,* ſoient infiniment petits, les angles *HBC, IEF,* pourront être pris pour des angles droits, & les petits angles *TBC, XEF* eux-mêmes, pour leurs ſinus. Ainſi le poids *P* ſera à la tenſion de la corde *ABC,* comme *TBC,* ou ſon ſinus, eſt au ſinus

Nous n'avons à consulter là-dessus que l'expérience.

Le volume de deux liqueurs mêlées ensemble n'est pas toûjours égal à la somme des volumes des deux liqueurs séparément, & il est souvent plus petit. Par exemple, deux parties d'eau, & une d'esprit de vin, faisant en tout & séparément 3 de volume, ne feront, étant mêlées ensemble, que 3 moins la 20me partie du volume de l'esprit de

total; & le poids *Q* à la tension de la corde *D E F*, comme l'angle *X E F*, ou son sinus, au sinus total. Mais les poids *P*, *Q*, sont égaux; donc réciproquement la tension de la corde *A B C* sera à la tension de la corde *D E F*, comme l'angle *X E F*, ou son sinus, est à l'angle *TBC* ou à son sinus: d'où il suit que quoique les poids *P* & *Q* soient égaux, ils ne laissent pas de produire ou de nous indiquer différentes tensions dans le cas où les deux parties des cordes *A B C*, *D E F* font des angles différens. Mais, *par hyp.* les parties *AB*, *BC*, & *D E*, *E F*, ne sont ici que des côtés infiniment petits de deux polygones infinitilatères ou de deux cercles dont les courbures sont exprimées réciproquement par les angles *A B C*, *D E F*, ou directement par les externes *TBC*, *XEF*, & ces courbures sont réciproquement entr'elles comme les rayons de ces cercles; donc les tensions produites ou indiquées par les poids *P* & *Q*, sur deux cordes, ou, comme on l'a vû, sur deux surfaces ou deux enveloppes sphériques, ou enfin les forces expansives de deux bulles d'air de différente grosseur, sont entr'elles comme leurs rayons; *C*, *Q*, *F*, *D*. Cette théorie est la même que celle de feu M. Jean Bernoulli, sur le gonflement ou la force des muscles, par l'introduction d'un fluide quelconque, & sur la courbure des voiles, par l'impulsion du vent.

vin, ou d'un 60me du total *. Quelques parties de l'une des deux liqueurs se logent donc dans les vuides ou les interstices de l'autre, ou quelques parties des deux à la fois se mêlent ainsi réciproquement les unes avec les autres; & il y a grande apparence que quelque chose de tout pareil arrive à l'air qui est contenu dans l'eau. Lorsqu'on remplit d'eau ou de quelqu'autre liqueur un vaisseau déjà plein de cendres bien tamisées & bien tassées, il n'en contient guère moins en cet état, que s'il avoit été vuide de toute autre matière.

Nous dirons de l'air qui est ainsi contenu dans un liquide, ou de quelqu'autre manière que ce soit, différente de la forme sous laquelle nous le respirons, & comme délayé dans ce liquide, qu'il y est *intimement* mêlé, & de l'autre, de l'air ordinaire, que c'est de l'air *en masse.*

Tous les corps, tant solides que liquides, contenant une très-grande quantité d'air, comme on en peut juger par celui qui en sort, on ne peut douter que la plus grande partie de cet air qui vient d'en sortir, n'y fût intimement mêlé, soit par le volume qu'il occupe, soit par la difficulté qu'il y auroit à le réduire en aussi petit volume qu'auparavant,

* Voyez les exp. de M. de Reaumur sur ce sujet, *Mém. de l'Acad. 1733, p. 165.*

& par la force qu'il y faudroit employer.

Une expérience assez connue, & que nous devons au célèbre Géomètre que je viens de citer dans la grande note précédente, nous en fournit un exemple remarquable *(a)*. Il en a conclu, que l'air contenu dans un grain de poudre à canon avant l'inflammation, n'y tient pas la centième partie de la place qu'il occupe après l'inflammation, & lorsqu'il a été refroidi au même degré que l'air d'alentour. On ne sauroit dire cependant que l'état de cet air dans le grain de poudre, avant l'inflammation, consiste en quelque chose de pareil aux condensations ordinaires de l'air en masse; car il est clair par mille autres expériences, qu'il auroit alors beaucoup plus de force qu'il n'en faut pour écarter les parois qui le contiennent, briser & dissiper les parties friables & peu liées du grain de poudre, & s'échapper d'entre leurs interstices. Il faut donc qu'il y soit sous une forme toute différente.

Je sais que deux habiles Observateurs *(b)*

(a) Jean Bernoulli, *Diss. de Efferv. & Ferment. nº 22.* La même expérience est encore plus circonstanciée parmi celles de Haukbée, imprimées & traduites en italien à Florence, p. 60. Et il résulte enfin de plusieurs autres expériences, que le volume d'air qu'on tire d'une matière égale souvent 200 ou 300 fois celui de la matière d'où il est sorti. *Leç. de Phys. de M.* l'Abbé Nollet, *t. 3, l. 10, exp. XIX.*

(b) Mrs 'sGravesande & Desaguliers.

qui ont répété la même expérience avec beaucoup d'art, ont attribué cet effet à une véritable production de nouvel air, causée par l'inflammation de la poudre. Cette différente explication du fait ne changeroit rien à l'usage que j'en prétends faire, puisque j'en pourrois dire autant de l'air qui se répand dans l'eau pendant la congélation, & en déduire de même l'expansion ou la légèreté de la glace. Mais j'avoue que je ne saurois recourir à une nouvelle production, tandis que je puis concevoir les mêmes effets par le seul changement d'état & de situation des parties. Sans compter qu'il se mêle ici, selon moi, une autre cause dont il n'est pas temps de parler, n'en ayant pas établi le principe, & qui suffira pour ramener la conclusion de M. Bernoulli à ses justes limites.

Il résulte d'une expérience de M. Mariotte, rapportée dans son *Essai de la nature de l'air*, qu'on peut faire sortir d'une goutte d'eau par la chaleur, une quantité d'air égale à 8 ou 10 fois le volume de la goutte. Que seroit-ce si cet air y avoit été sous sa forme ordinaire & élastique, comme il est dans un ballon! Le liquide auroit-il résisté à son effort! Il y a donc infiniment plus d'apparence qu'il y étoit intimement mêlé, & de la même manière qu'il s'y insinue de nouveau, & qu'il s'y dissout, après qu'on l'en a purgée.

Mais voici encore quelque choſe de plus poſitif pour notre ſujet. J'ai mis dans la machine pneumatique un vaiſſeau plein d'eau de trois ou quatre pouces de diamètre, & d'autant de hauteur, &, après m'être aſſuré de ſa peſanteur ſpécifique actuelle ou de ſa denſité, par le pèſe-liqueur, j'en ai pompé l'air à différentes repriſes, & dans l'intervalle d'un ou deux jours, obſervant que la température de l'air extérieur fût à peu près la même pendant toute la durée de l'expérience. J'y ai replongé enſuite le pèſe-liqueur, & il s'y eſt toûjours enfoncé comme auparavant, ni plus ni moins. L'air qui en étoit ſorti, & en très-grande quantité, n'y occupoit donc pas un eſpace ſenſible. Car on ſait que la peſanteur ſpécifique des matières, & leur volume, ſont des grandeurs relatives; l'une ne peut diminuer ſans que l'autre n'augmente, & au contraire; & ſi l'une demeure la même, l'autre ne change pas. La même expérience avoit été faite par M. Huguens, quoiqu'à toute autre intention, & d'une manière très-différente *(a)*, comme auſſi par M Boyle *(b)*.

Il eſt donc certain que l'air n'eſt pas dans l'eau pendant qu'elle eſt liquide & avant qu'elle approche de la congélation, de la même manière que pendant ſa congélation,

(a) Journ. des Sav. 25 Juillet 1672.
(b) *Phil. Tranſ. n°* 62.

lorſqu'il s'y raſſemble en maſſe, ou en bulles plus ou moins groſſes ; & nous en avons ſuffiſamment indiqué les conſéquences, par rapport au plus grand volume qu'il y doit produire pendant qu'elle ſe glace.

CHAPITRE VI.

Seconde cauſe de l'augmentation de volume pendant la congélation, le dérangement qui ſurvient aux parties intégrantes de l'eau, par la ſortie ou le dégagement de l'air d'entre leurs interſtices.

EN parlant de l'air qui ſe dégage des interſtices de l'eau, ſoit par le reſſort qui lui reſte, ſoit par ſa légèreté, ou par les nouveaux mouvemens de la matière ſubtile aux approches de la congélation, nous avons preſque toûjours conſidéré le liquide comme immobile relativement à cet air qui s'y inſinue, ou qui s'en dégage ; & nous avons été conduits à l'imaginer ainſi, parce qu'à volume égal, l'eau contient environ huit à neuf cens fois plus de matière propre que l'air, & que de deux corps qui par une force quelconque tendroient l'un vers l'autre, celui dont la maſſe ſurpaſſeroit comme infiniment celle de l'autre, pourroit être cenſé en repos, tandis que cet autre iroit

vers lui. Mais le mélange de deux ſubſtances étant un effet purement réciproque, rien n'empêche que nous n'imaginions également, que c'eſt l'eau qui s'inſinue dans l'air, comme nous avons imaginé ci-deſſus qu'elle s'imbiboit dans la cendre, & que c'eſt l'eau qui ſe dégage de l'air, ſelon que l'une ou l'autre idée conviendra davantage à nos explications, & en pourra faciliter l'intelligence.

Cela poſé, & que les parties intégrantes de l'air ſoient rameuſes ou ſpirales *(a)*, & celles de l'eau un peu oblongues, comme des cylindres arrondis par leurs bouts, ou comme des ſphéroïdes oblongs *(b)*, nous pouvons indifféremment ſuppoſer, que dans leur mélange intime les particules de l'air ſe ſont roulées ſur ces cylindres, ou que les particules de l'eau ſe ſont logées dans les ſpires de l'air, ou l'un & l'autre à la fois.

Après quoi il eſt aiſé de concevoir que le mouvement intérieur ou l'ébullition qui ſurvient à l'eau qui ſe glace, toûjours d'autant plus ſenſible que le froid eſt plus grand, & que la congélation eſt plus prompte, ce trouble inteſtin que nous avons décrit dans le Chapitre III de cette Section, eſt une cauſe ſuffiſante du dérangement & de la tranſpo-

(a) Suprà, p. 47 & 48.
(b) Suprà, p. 107.

ſition des parties du liquide, par rapport à la ſituation qu'elles avoient entr'elles dans ſon état parfait de liquidité. Or la matière ſubtile & les molécules de l'air, qui ſe dégagent alors d'entre les interſtices de l'eau, heurtent violemment ſes parties, en détournent pluſieurs de leur direction commune qui tendoit vrai-ſemblablement au paralléliſme, & les fait porter tranſverſalement & irrégulièrement les unes ſur les autres. La figure oblongue que nous leur avons attribuée, ſoit à chacune en particulier, ſoit aux petits paquets qui s'en aſſemblent, & qui ſe manifeſtent dans les filets de glace, favoriſe la poſſibilité de cette poſition différente, & de ce changement de direction. Imaginez un grand amas de pièces de bois cylindriques exactement empilées ſelon leur longueur, & de façon que chaque pièce porte également ſur les deux inférieures qui la ſoûtiennent, & rempliſſe autant qu'il eſt poſſible la gouttière qu'elles forment. Jettez çà & là dans l'intérieur de cet aſſemblage, de petites cordes qui s'ajuſtent entre ſes intervalles, ou qui s'entortillent autour de quelques-unes des pièces qui le compoſent: telle nous imaginerons à peu près la diſpoſition des parties de l'eau avec l'air qu'elle contient, ou du moins la diſpoſition où ces parties tendent le plus conſtamment, & où elles paroiſſent ſe maintenir le plus qu'il eſt poſ-

ſible pendant ſa liquidité. Introduiſez préſentement quelque fluide agité, un torrent, dans cette pile de bois; arrachez ſoudainement les cordages qui s'y trouvent mêlés ou entortillés, il eſt évident qu'il s'en enſuivra un dérangement univerſel, que telle pièce de bois, par exemple, dont la poſition étoit parallèle par rapport à ſes voiſines, les croiſera, que telle autre formera le chevron avec elles, & enfin que toutes ou preſque toutes ſortiront de la direction où elles étoient les unes à l'égard des autres. Il n'eſt pas moins évident que ce nouvel amas doit occuper plus de place, par ce ſeul dérangement de parties, qu'il ne faiſoit auparavant. Or c'eſt-là ce que je crois qui arrive à l'eau prête à ſe geler. La matière ſubtile intérieure qui ſe dégage & qui ſe meut alors plus irrégulièrement dans ſes interſtices, par l'interruption de ſon équilibre avec l'extérieure, y produit le même trouble & le même dérangement que le torrent que nous avons introduit dans la pile de bois; & l'air mêlé avec l'eau ou entortillé avec ſes parties venant à s'en détacher par la même cauſe, & par la colliſion mutuelle de pluſieurs d'entr'elles, y tient lieu des cordages que nous y avons ſuppoſés; avec cette différence que les particules d'air ont du reſſort, que leur reſſort s'exerce déſormais avec plus de liberté, & qu'elles augmentent par-là le

gonflement général de la masse, comme nous l'avons expliqué.

L'augmentation de volume en conséquence du seul dérangement des parties, pourroit aller beaucoup plus loin que celle dont nous avons besoin pour expliquer ce qui arrive à l'eau glacée; le plus petit changement suffit pour cela. Car, par exemple, si au lieu d'imaginer la pile de bois entassée comme ci-dessus, on suppose seulement que chaque pièce de bois y porte à angles droits sur son inférieure, que toute la pile soit formée de plusieurs couches horizontales, où les pièces cylindriques, sans cesser de se toucher, portent transversalement les unes sur les autres, c'est-à-dire, que toutes celles de la première couche étant dirigées du midi au septentrion, toutes celles de la seconde le soient de l'orient vers l'occident, & ainsi de suite; il est aisé de démontrer qu'il en naîtra un volume, qui est au précédent comme 2 à la racine de 3, ou environ comme 7 à 6. Ce qui suffiroit pour expliquer le gonflement ordinaire de l'eau qui se glace; & à plus forte raison des arrangemens ou des dérangemens qui laisseroient de plus grands vuides, seroient-ils suffisans.

CHAPITRE VII.

De l'angle ſous lequel les particules de glace & les parties intégrantes de l'eau affectent de s'unir & de s'aſſembler entr'elles pendant la congélation.

AVANT que de paſſer à la troiſième cauſe de l'augmentation de volume dans l'eau qui ſe glace, il convient d'en préparer l'intelligence par l'établiſſement d'un fait, qui eſt lui-même très-curieux & très-important. C'eſt du moins un nouveau point de vûe ſur ce ſujet, une conjecture que je ne dois pas négliger de propoſer.

Une infinité d'obſervations & d'expériences m'ont perſuadé que les particules de l'eau qui ſe glace, tendent à s'aſſembler entr'elles, & par leurs filets ſenſibles, ſous un angle de 60 degrés, ou de 120 qui en eſt le complément à deux droits, & cela quelquefois avec une juſteſſe que la plus exacte pratique en Géométrie ne peut qu'imiter, & ne ſauroit ſurpaſſer.

On a vû ci-deſſus que la congélation de l'eau commence par des filets, de petites aiguilles droites, ou de petites lames, comme des canifs dont le tranchant ſeroit tourné en en-bas; que ces filets venant à ſe

ſe multiplier les uns près des autres, & à former des paquets de fibres, des plans ou des réſeaux quelconques, vont ſouvent ſe joindre à d'autres paquets ſous divers angles, par rapport à la direction des fibres ou des aiguilles de l'un, & à la direction des fibres ou des aiguilles de l'autre, qu'il en réſulte quelquefois des compartimens à la ſuperficie de la glace, & comme un aſſemblage de champs diverſement ſillonnés, tels qu'on les repréſenteroit ſur une carte topographique ou ſur le plan d'une campagne; des feuilles avec leur nervure, des plumes avec leurs barbes, & cent autres figures plus ou moins régulières que nous avons inſinué n'être pas auſſi indéterminées ou auſſi fortuites qu'on pourroit ſe l'imaginer. Et nous avons donné en même temps un moyen facile de vérifier, de répéter ſouvent l'expérience, & de rendre ces figures très-viſibles ſur une lame ou pellicule de glace *; car ce n'eſt qu'à force de voir & de revoir ce phénomène, qu'on y démêlera cette affectation des filets de glace à ſe joindre ſous un certain angle déterminé, que je dis être de 60 degrés.

J'avoue que la variété qui règne dans ces figures de la ſuperficie de la glace, & même quelquefois dans les angles ſous leſquels les filets rencontrent latéralement leurs voiſins,

* Page 8. Voy. *Planche I.*

y couvre, pour ainſi dire, la loi ou la tendance générale que j'ai cru y apercevoir: car, dira-t-on, parmi tant de haſards, il doit aſſurément y en avoir quelqu'un qui nous donnera l'angle de 60 degrés, ou de 120 qui en eſt le complément. Mais j'en fais juge quiconque voudra ſe donner la peine de le vérifier; ce prétendu haſard arrive trop ſouvent, & d'une manière trop marquée pour n'avoir pas une cauſe déterminante.

Il faut d'abord ſe munir d'un étalon de cet angle, d'une lame de métal ou de carte, qui en ſoit l'exacte meſure. Trois arcs de cercle qui ſe coupent réciproquement, & ſous une même ouverture de compas, donneront de quoi former un triangle équilatéral, dont on ſait que chaque angle vaut 60 degrés. J'ai appliqué mille fois un ſemblable triangle ſur ces ſillons d'un champ qui vont rencontrer ceux du champ voiſin, ſur la nervure qui part de la côte d'une de ces feuilles, ſur les barbes de plume, inclinées de même à une tige commune, & j'ai été ſurpris de la préciſion avec laquelle il s'y ajuſtoit par ſes côtés & par ſes angles.

Ce n'eſt pas ſeulement les uns aux autres que les filets de glace affectent de ſe joindre ſous un angle de 60 ou de 120 degrés, mais encore à toutes les ſurfaces polies des matières qui leur ſont analogues &

auxquelles ils s'attachent aiſément, telles que le verre, la fayence, la porcelaine, &c. je m'en ſuis particulièrement aperçu en faiſant geler l'eau dans des vaſes de figure ronde; & la raiſon en eſt, que cette figure réſultant du tour ſur lequel ils ont été travaillés, leurs parois & leurs bords ont preſque toûjours par-là une hardieſſe de trait & un poli uniforme qu'on ne voit point dans ceux qui ſont à pans ou à parois rectilignes. On y remarquera donc aſſez ſouvent de ces grands filets de glace qui tiennent par un de leurs bouts à la ſurface intérieure, & qui font avec la tangente menée ou imaginée par le point de contact, un angle de 60 ou de 120 degrés.

Je n'ai guère jugé d'abord de la valeur de cet angle avec la tangente, que par eſtime, à la vûe ſimple, ou en appliquant une règle au point de contact; mais le haſard m'a fourni là-deſſus plus d'une fois un moyen de vérification auquel je ne me ſerois pas attendu. Il m'a fait rencontrer de ces longs filets de glace qui ſe joignoient aux parois du vaſe par leurs deux bouts, & qui devenoient par conſéquent la corde ou la ſoûtendante d'un arc de ſa circonférence : j'ai pris la longueur de cette ſoûtendante avec le compas, je l'ai portée ſur le reſte de la circonférence du vaſe, & elle m'en a donné le tiers tout juſte, ou ſenſiblement tel : c'eſt-

à-dire, que trois de ces cordes y auroient inſcrit un triangle équilatéral, ce qui, comme on ſait, ne peut arriver ſans que l'angle de la corde avec la tangente ne ſoit de 60 ou de 120 degrés. Je ne dis pas que cela arrive toûjours, mais quelquefois, & plus ſouvent que le ſimple haſard ne le comporte *(a)*.

Les congélations des liqueurs aqueuſes & lixivielles ou urineuſes, donnent cet angle d'une manière plus conſtante & plus marquée.

On pourroit croire que ce ſont les ſels contenus dans ces liqueurs qui déterminent les parties de l'eau ou ſes filets de glace à prendre entr'eux cette inclinaiſon qu'ils ne prendroient pas toûjours par eux-mêmes; mais les cryſtalliſations de ces ſels donnant des figures très-différentes, pourquoi n'y en a-t-il qu'une qui ſe développe, & qui indique toûjours l'angle de 60 degrés dans la congélation des liqueurs où ils ſont diſſous, ſoit pures, ſoit mêlées avec une grande quantité d'eau ordinaire? Tous ces ſels, dis-je, ſont différens & différemment raſſemblés dans la même liqueur. L'urine ſeule en contient un grand nombre d'eſpèces *(b)*; du volatil,

(a) Une de ces cordes eſt repréſentée dans la figure de la *Planche I.*

(b) V. le Mém. de M. Geoffroy *ſur la nature & la compoſition du ſel ammoniac.* Mém. de l'Acad. 1720, *p.* 197.

du fixe, du sel ammoniac, qui se cryſtallise en grumeaux de neige ou de farine, du sel marin, qui donne des cubes, &c. Tous ces différens sels avec leurs cryſtallisations particulières concourroient-ils à ne donner dans nos congélations aqueuses que l'assemblage constant de filets sous le même angle ? Il est bien plus naturel de croire que les particules de ces sels, disjointes & parsemées çà & là dans la partie purement aqueuse & plus abondante de la liqueur, ne faisant qu'y interrompre le cours réglé de la matière subtile dans l'eau, laissent à ses parties intégrantes une plus grande liberté de se joindre entr'elles, selon la tendance ou l'inclinaison qui leur est propre: ce qui détermine le total du mixte dans sa congélation à ne donner que des filets de glace assemblés sous cette tendance générale. Je pense aussi que les particules salines de l'urine unies à celles de l'eau en augmentent le ressort & la roideur dans la congélation, & favorisent d'autant par-là l'effet de leur tendance. C'est ainsi apparemment que les sels en général augmentent l'émission & la force des particules odorantes des végétaux lorsqu'ils y sont mêlés avec un peu d'humidité.

Nous aurons occasion dans la suite de parler des figures que produisent les congélations des lessives qu'on tire des cendres

des plantes brûlées. Arrêtons-nous préſentement à la congélation de l'eau mêlée d'urine, ou de l'urine même.

Si l'on expoſe cette liqueur, encore récente, quoique cette condition ne ſoit pas abſolument néceſſaire, à la gelée, dans quelque grand vaiſſeau évaſé, tel qu'une aſſiette ou un baſſin, on y verra bien-tôt toute la ſuperficie de la glace gravée, ou plûtôt ſculptée en bas-relief * des figures que nous avons décrites ci-deſſus, dont les filets ou les hachures feront toûjours avec quelqu'autre ſemblable amas de filets, ou avec un autre filet plus ou moins grand, un angle de 60 ou de 120 degrés, ſelon que la cauſe méchanique de l'attraction de ce filet, contigu ou voiſin, ſera plus efficace. Les bords du vaſe l'emporteront auſſi quelquefois ſur les filets prochains, & c'eſt contre leurs parois intérieures, & relativement à la tangente du point de contact, que ſe manifeſtera l'angle de 60 degrés. Il réſultera de tout cet aſſemblage, tantôt de grandes étoiles à ſix rayons, qui étant pris deux à deux avec ces filets qui s'y joignent obliquement & en convergence vers le centre, repréſenteront trois pièces d'une croix de Malte, tantôt des feuilles de trois ou quatre pouces de longueur, dont la nervure rectiligne aboutit de part & d'autre à la même côte, ou un peigne à deux

* En relief, par la raiſon qui en a été donnée, *ſup. p. 108.*

rangs de dents obliques à ſa *traverſe*, & cent autres figures, ſelon que ces compartimens ſeront diverſement diſtribués, par les circonſtances que nous venons d'indiquer. Après quoi l'on peut hardiment promener le triangle rectangle ſur cette eſpèce de marqueterie, il s'ajuſtera par-tout entre les filets du premier & du ſecond ordre, ou même d'un troiſième & d'un quatrième ordre, avec une juſteſſe ſurprenante *.

Un plus petit vaſe, & d'environ quatre pouces de diamètre, m'a preſque toûjours donné une de ces feuilles, ou un de ces peignes en pointe, dans toute ſa longueur, comme dans le grand vaiſſeau plat, c'eſt-à-dire, de près de quatre pouces de longueur; ce qui ſembleroit indiquer que malgré cette variété de grandeurs que l'on remarque ici, il y en a une entre les limites de laquelle ces congélations tendent à s'arrêter, comme

* J'ai tâché de repréſenter une de ces congélations dans la *planche III*; mais je n'y ai réuſſi que bien imparfaitement. J'ai manqué d'art, d'adreſſe & de patience; ſans compter que ne pouvant guère ſoûtenir ce travail qu'en un lieu tempéré, la glace commençoit à ſuer, à fondre, les traits diſparoiſſoient, & j'étois bien-tôt obligé à les tracer de mémoire. Ainſi l'on peut s'aſſurer que bien loin qu'il y ait rien d'outré dans la figure par rapport à cette régularité d'angles & à la ſingularité de ce tiſſu, tout y eſt au contraire fort au deſſous de ce que j'ai ſouvent obſervé dans la Nature. J'y ai négligé la plûpart des ſubdiviſions en troiſièmes & quatrièmes filets, &c.

on l'obſerve dans pluſieurs autres concrétions tant foſſiles que provenant du genre animal & du végétal.

CHAPITRE VIII.

Exemples & inductions en faveur de cette tendance.

LA préciſion d'un angle de 60 degrés, ſous lequel je dis que s'aſſemblent les particules de l'eau qui ſe glace, lorſqu'elles en ont la liberté, ne ſurprendra point ceux qui ont un peu étudié la Nature. Il ſeroit peut-être plus extraordinaire, & par-là plus merveilleux, que les parties de l'eau, en ſe glaçant, n'euſſent point entr'elles quelqu'un de ces arrangemens particuliers & déterminés que l'on remarque dans preſque tous les autres corps qui ſe cryſtalliſent. Cependant comme cette propriété pourroit paroître encore bien paradoxe, qu'il me ſoit permis d'en rapporter ici quelques exemples. Il y en a tel qui prouvera du moins qu'on n'a pas toûjours vû dans ce genre des ſingularités qu'on avoit eues mille fois ſous ſes yeux.

Ces mêmes congélations urineuſes dont nous venons de parler, & qui ſont ſi régulières, ſi rectilignes & ſi conſtamment aſſujéties à l'angle de 60 degrés, ou de 120

ſon complément, comment les a-t-on vûes? comme des rameaux courbes & arqués de fougère ſortant de leur tige ſous différens angles indéterminés & fortuits, de 40 ou 50 degrés *, ſans que rien puiſſe nous indiquer, dans les deſcriptions & dans les figures qu'on en a données, cette direction & cette conſtance angulaire qui ſautent aux yeux.

Nous avons déjà dit un mot de la régularité avec laquelle les ſix globules du ſang, qui en compoſent un plus gros, s'ajuſtent enſemble pour le former; ce qui aſſurément ne ſauroit ſe faire ſans une tendance dont la direction des uns vers les autres ne ſoit bien déterminée. Quatre petits globules ſe touchent quarrément, un cinquième eſt poſé ſur le vuide qu'ils laiſſent au milieu du quarré, & un ſixième ſe place au deſſous à l'oppoſite de celui-ci.

Les ſix enſemble venant à ſe comprimer les uns contre les autres par une force quelconque, ſont réduits à ne former qu'une ſphère polie, à la ſurface de laquelle on voit ſeulement les traces de leur attouchement & de leur union, en ſix quadrilatères curvilignes, égaux & ſemblables. Chacun des compoſans, qu'on peut appeller du ſecond ordre, eſt lui-même compoſé de ſix autres ſemblablement arrangés, qui ſeront

* V. par ex. Ed. Luidii *Lithophylacii Britannici Ichnographiam*, p. 122, &c.

du troiſième, ceux-ci de ſix autres du quatrième ordre, & ainſi de ſuite, ſans qu'on puiſſe preſcrire un dernier terme à cette progreſſion géométrique & *ſénaire*. De manière que, ſelon Leeuwenhoek qui les a vûs au microſcope, & qui nous en a détaillé la ſtructure, chacun des gros globules du ſang eſt au moins compoſé de 36 globules ainſi décroiſſans *. Dans le ſang de certains poiſſons, ce ne ſont plus des globules, mais de petits corps ovalaires qui ont un vuide au milieu, comme des anneaux, ou plûtôt comme des chapelets de pluſieurs grains de ſemblable figure, qui ſe touchent, comme feroient pluſieurs pierres d'aimant, par leurs poles; car je ne doute point qu'il n'y ait ici quelque choſe de fort analogue aux tendances magnétiques, tant à l'égard de ces particules rouges du ſang des poiſſons, que des globules du ſang humain. Les plus petites de ces parties, viſibles au microſcope, ſurpaſſent des millions de fois en petiteſſe un

* On en peut voir les figures, *Pl. II, num. 2. figg. G, L, M, N,* d'après cet Auteur, *Arc. Nat. det. t. 3. Ep. 128,* & mieux encore d'après M. Martine, *Eſſais & Obſ. d'Edimb. t. 2. G* repréſentant les ſix globules qui en compoſent un gros, *L*, dont le diamètre eſt par conſéquent à celui de chacun des petits, en raiſon de la racine cubique de 6 à la rac. cub. de 1, ou très-approchant, comme 20 à 11; ce qu'il faut imaginer de même en ſous-ordre de chacun des petits, *G*. Le ſixième globule de ce grouppe eſt cenſé au deſſous de celui qui occupe le milieu entre les quatre.

grain de sable, quoique apparemment elles soient des millions de fois plus grosses que les parties intégrantes de l'eau, dont aucun instrument d'optique n'a pû jusqu'ici nous faire apercevoir la figure ni la grosseur. Voilà ce qui nous manque pour découvrir dans celles-ci un méchanisme que nous ne pouvons leur attribuer que par conjecture, & d'après certains phénomènes.

Les sels, comme nous l'avons déjà fait entendre, affectent & retiennent constamment certaines figures, certains arrangemens de parties dans leurs cryſtallisations. Les uns, comme le sel marin, donnent des cubes ou des pyramides un peu creuses, dont les aiguilles sont parallèles aux côtés du quarré & autour du centre des trémies dont ces cubes sont formés; les autres des prismes à pans, égaux ou inégaux, des aiguilles, des polyèdres de différente espèce.

Les morceaux de cryſtal d'Islande sont autant de parallélépipèdes obliques, dont les six faces prises deux à deux forment alternativement entr'elles des angles aigus de 78 degrés 8 minutes, & des angles obtus de 101 degrés 52 minutes, complémens réciproques les uns des autres à deux droits *, comme le sont dans la glace de l'eau les angles de 60 & de 120 degrés.

Il en est de même de la plûpart des

* Huguens, *Tr. de la Lumière*, c. 5.

fossiles, soit cryſtallins, soit métalliques, dans leurs concrétions, des pierres figurées de toute espèce, & sur-tout des pyrites formées comme de petits dés, tant cuivreuses & dorées, que ferrugineuses & arsénicales ou blanches, dont il semble que la structure admirable, toute visible qu'elle est ordinairement sans le secours de la loupe & du microscope, ait échappé aux Naturalistes: du moins ne trouvai-je nulle part qu'ils en aient parlé.

Ce que je remarque donc de plus singulier dans cette construction, & qui vient parfaitement à notre sujet, c'est que ces pyrites cubiques, ou parallélépipèdes rectangles, toutes composées de petites aiguilles de même matière, ont toûjours régulièrement ces aiguilles dirigées à angles droits les unes à l'égard des autres; non sur un même plan, comme celles de la superficie de la glace, sous l'angle de 60 ou de 120 degrés, mais par rapport à celles des autres faces du cube: c'est-à-dire, qu'elles sont parallèles entr'elles sur chacune des six faces du cube, & perpendiculaires à celles de chacune des quatre faces contigues, qui par la nature du cube ou du parallélépipède rectangle sont elles-mêmes perpendiculaires l'une à l'autre *.

Si ce n'étoit ici qu'un amas fortuit de paillettes métalliques, indéterminées par

* V. *Planche II, num. 3, fig. C.*

elles-mêmes, & sans aucune cause, aucun fluide interne ou externe qui les dirigeât, elles ne s'arrêteroient pas toûjours à ne former que des cubes ou des grumeaux de cubes, comme elles font quelquefois, elles ne seroient pas toutes parallèles. Si elles étoient toutes parallèles entr'elles, elles pourroient ne l'être pas à deux côtés opposés de la face quadrilatère, & perpendiculaires aux deux autres. Si elles se trouvoient ainsi disposées sur l'une des faces, elles ne le seroient pas toûjours de même sur les autres, elles les couperoient sous un angle quelconque; mais pourquoi toûjours sous l'angle droit? Comment les fibres ou les aiguilles des quatre faces contigues se disposent-elles toûjours de manière à être coupées perpendiculairement par celles de la face contigue? Ce qui est même d'abord assez malaisé à imaginer; car les fibres de cette face pourroient être perpendiculaires à celles des deux faces voisines & opposées, & parallèles à celles des deux autres faces semblablement opposées. Pourquoi enfin n'est-ce pas tantôt d'une façon, tantôt de l'autre, en différens cubes? Qu'est-ce que de simples aiguilles, des paillettes métalliques destituées de toute tendance particulière des unes vers les autres, pourroient produire par leur rencontre, que des amas informes & variables dans l'intérieur de la terre, & parmi une

infinité d'autres ſubſtances qui les environnent, qui les heurtent & qui les compriment de toutes parts !

Mais il y a plus, cette diſpoſition conſtante de fibres n'eſt pas ſeulement extérieure, elle eſt continuée juſqu'au centre du cube, toutes ſes couches, toutes ſes enveloppes ſuivent la même loi : de manière que ce cube peut être conſidéré comme réſultant de l'aſſemblage de ſix pyramides quadrilatères qui ont pour baſe chacune de ſes ſix faces, & leur ſommet à ſon centre. On peut imaginer, dis-je, qu'un ſemblable cube eſt formé par l'appoſition des plans de pareilles fibres les unes ſur les autres, depuis l'extrême petiteſſe du cube naiſſant, juſqu'à l'état où on le voit. Chaque pyramide n'eſt compoſée, par conſéquent, que de plans d'aiguilles ou de paillettes parallèles entre elles, & à celles de la pyramide qui lui eſt directement oppoſée par le ſommet, mais perpendiculaires à celles des quatre pyramides latérales & contigues *: ce que le haſard encore & des arrangemens fortuits ne

* Soit *C* (*Planche II, num. 3.*) le cube pyrite, & *P* l'une de ſes pyramides compoſantes; les hachures parallèles de ces figures repréſentant la direction des fibres, & les points leurs ſections. Si l'on coupe un tel cube par un plan parallèle à deux de ſes faces quelconques, la figure *S* repréſentera la ſection qui paſſe par le centre, & Σ celle qui paſſeroit entre le centre & l'une des faces; cette dernière donnant quatre tra-

fauroient assurément ~~par~~ produire, & qui ne peut être attribué qu'à une tendance de parties bien déterminée & bien constante, quel qu'en puisse être le méchanisme, & quelle qu'en soit la cause ; en un mot, telle que je la conçois dans les aiguilles de la glace, par rapport à l'angle sous lequel elles ont coûtume de s'assembler dans un même plan,

pèzes alternativement hachés & ponctués autour d'un quarré haché perpendiculairement aux deux trapèzes de même espèce ; & ces trapèzes étant d'autant plus grands, & le quarré d'autant plus petit, que la section approchera davantage du centre. Pour mettre sous les yeux la différence de cette construction d'avec celle que nous avons attribuée ci-dessus au cube de sel marin, soit *M*, (*Num. 4.*) un de ces cubes, comme on le voit à la loupe ou au microscope, & *T* l'une des trémies ou pyramides composantes, les trémies décroissantes qui la rempliſſent s'emboîtant successivement les unes dans les autres, depuis la plus grande dont les bords se confondent avec les arêtes du cube, jusqu'à la plus petite dont les bords & la pointe se confondent sensiblement avec le centre de la face du cube. La section de ce cube parallèlement à deux de ses faces & par son centre, ne donne qu'un quarré *Q*, rempli de points ou des extrémités des aiguilles coupées dans les pyramides latérales ; mais sa section moyenne, entre le centre & l'une des faces, produira le plan quarré *Z*, composé de quatre parallélogrammes rectangles hachés parallèlement à ses côtés autour d'un quarré au milieu, haché dans les mêmes sens, & quatre quarrés ponctués aux quatre angles ; ces quatre quarrés étant d'autant plus grands, & les parallélogrammes d'autant plus petits, que la section approchera davantage du centre. Les sections obliques des deux cubes *C* & *M*, par les arêtes opposées diagonalement, par les angles solides, &c. produiroient d'autres singularités que je passe sous silence,

quoique d'une manière moins invariable, par les raisons que j'en ai déjà dites, ou que je dirai ci-après.

Toutes ces substances & cent autres dont je ne parle pas, affectent donc un arrangement déterminé & une direction de fibres qui ne diffèrent de celles des parties de l'eau qui se glace que par l'angle sous lequel elles s'arrangent, & par quelques autres circonstances, qui bien loin de détruire l'analogie ne font que la confirmer.

Mais terminons ces inductions par quelque chose de plus positif.

CHAPITRE IX.

Preuves directes de la tendance des parties de l'eau à s'assembler sous un angle de 60 degrés.

IL n'est pas bien rare qu'il tombe de la neige composée ou parsemée d'étoiles à six rayons égaux, également distans l'un de l'autre, & avec une exactitude que le compas le plus fin & la main la plus sûre pourroit difficilement nous procurer. Elles sont tantôt plus petites, tantôt plus grandes, quelquefois de plus de deux lignes de diamètre, mais presque toûjours observables à la vûe simple *.

* Voyez-en la figure, à peu près de la grandeur la plus ordinaire, *lettre A*, sous le *num. 5*, *Pl. II.* Il sera parlé

Voilà donc de petits filets d'eau ou de glace, qui étant ſuſpendus dans l'atmoſphère, & en pleine liberté d'exercer leurs tendances, ſe ſont joints les uns aux autres ſous l'angle de 60 degrés; car ce nombre eſt la 6me partie des 360 degrés que contient le cercle, & par conſéquent la meſure de chacun des ſix angles égaux qui ont leur ſommet à ſon centre.

Mais prenez garde que ces rayons ſe trouvent le plus ſouvent chargés d'autres petits filets de glace qui s'y joignent en ſecond ordre, à ceux-ci d'autres encore en troiſième ordre, &c. & toûjours ſous l'angle conſtant de 60 degrés; ce qui eſt viſible au microſcope, par leur paralléliſme avec le rayon ou filet de l'ordre ſupérieur qui eſt à côté, & dont il réſulte une eſpèce de branchage & de roſette qui ne ſeroit pas indigne de tenir ſa place parmi les ornemens du meilleur goût. M. Muſſchenbroek a obſervé de ces étoiles, hexagones & branchues, où l'angle de 60 degrés ſe manifeſte de toutes parts, & il en a donné une figure qui exprime fort bien tout ce que nous venons d'en dire *. J'en ai vû une fois à Paris de la

des ſuivantes, *B, C, D, F,* ci-après dans la troiſième Section; mais elles peuvent en attendant donner une idée de la variété qui règne dans ces figures, dans des neiges tombées en divers temps, ou en différens pays.

* *Eſſai de Phyſique, p. 806.* Voyez-la dans notre *Pl. II, num. 5, fig. F,* qui eſt, comme on peut juger, beaucoup plus grande que nature.

même eſpèce, quoiqu'un peu moins compoſées. Deux autres ſortes d'étoiles que feu M. Caſſini obſerva dans la neige en 1692 *(a)*, ne diffèrent de celles de M. Muſſchenbroek qu'en ce qu'au lieu de ſimples branches qui ſe fourchent en pluſieurs autres, ce ſont comme des rameaux garnis de leurs feuilles; & je ſuis fort trompé ſi ce ne ſont-là encore les étoiles *ſexangulaires* vûes par Képler, le premier, que je ſache, qui en ait fait mention, & qui ſoit entré là-deſſus dans quelque détail *(b)*. Il y en a enfin qui n'offrent à la vûe que ſix rayons pointus, à la manière dont on peint ordinairement les étoiles du Ciel, & de pluſieurs autres figures, qui reviennent toûjours dans leurs parties, à la même loi de l'angle de 60 degrés, & dont le dénombrement ſeroit ſuperflu.

Ce qu'on allégueroit, que ce ſont peut-être les exhalaiſons ſalines élevées dans la même région de l'air qui déterminent les vapeurs aqueuſes & les particules de glace à prendre cet arrangement, ne me paroît d'aucune vrai-ſemblance : car outre qu'on pourroit en dire autant & à plus juſte titre de la partie inférieure de l'atmoſphère où nous obſervons la congélation de l'eau, d'où ré-

(a) Mém. de l'Acad. *To. X, p. 37.*

(b) Strena, ſeu de nive ſexangula, p. 5..... flocculi ſparſim in veſtem meam decciderent, omnes ſexanguli, villoſis radiis.

ſulteroit indirectement & quant à l'effet la même tendance dans les particules de l'eau, nous répondrons encore ici, que des ſels de tant d'eſpèces, & dont les cryſtalliſations ſont ſi différentes, ne ſauroient donner toûjours avec cette régularité & cette conſtance, le même angle aux particules d'eau ou de glace qui s'arrangent entr'elles.

Deſcartes, dans ſes Météores, a eu ſur ces ſortes d'étoiles une idée auſſi ſimple qu'ingénieuſe. Six cercles égaux, décrits autour d'un ſeptième, le toucheront & ſe toucheront entr'eux; il en ſera de même de ſix ſphères autour d'une ſeptième ſur un même plan, & par conſéquent ſix gouttelettes d'eau ſphériques qui s'aſſembleront autour d'une de leurs ſemblables y formeront un fleuron hexagone, ou à ſix pointes, ſi l'eſpace triangulaire qu'elles laiſſent entr'elles & celle du milieu eſt ſuppoſé rempli de glace. Et ſi l'on imagine qu'enſuite pluſieurs autres gouttes ou particules ſemblables viennent s'ajoûter à la file autour de celles-ci, & ſur les mêmes ſix rayons qu'elles forment en partant du centre commun, il eſt clair qu'il en réſultera une étoile hexagonale: ce qui s'exécuteroit en ce cas ſans qu'il y eût aucune force impulſive ou attractive, aucune tendance qui les y déterminât. Voilà en gros l'explication de ce Philoſophe; des cercles ou des globules quelconques mous & flexibles, qui ſe com-

primeront ainſi réciproquement les uns autour des autres, ſe changeront toûjours en des hexagones.

Eraſme Bartholin donna en 1661 une Diſſertation ſur les étoiles hexagonales de la neige*, où il adopte totalement l'explication de Deſcartes, qu'il a ſeulement ornée de quelques détails, & d'une érudition qui n'y change rien pour le fond. Il inſiſte beaucoup, & avec raiſon, ſur ce qu'il ne faut expliquer les phénomènes que par voie mathématique, & par le pur méchaniſme. Mais le méchaniſme n'eſt pas moins fondé, en pareille occaſion, ſur le mouvement communiqué aux ſolides ou aux parties intégrantes des corps quelconques par un fluide inviſible qui en détermine l'arrangement, à raiſon de ſa direction & de leur ſtructure interne ou externe, que par la raiſon purement géométrique de leur figure & de leur maſſe. Concevroit-on ſans cela l'arrangement fixe & déterminé de la limaille de fer autour d'une pierre d'aimant! Ainſi lorſque le géométrique pur & inanimé ſe trouve viſiblement inſuffiſant pour produire certains effets, il faut bien avoir recours à ces fluides ſubtils & actifs, dont mille autres effets nous décèlent l'exiſtence.

Je ne doute pas que la théorie de Deſ-

* *De figura nivis*, qu'on trouve à la fin de la Diſſert. de ſon frère (Thomas B.) *De nivis uſu Medico.*

cartes ne puiſſe avoir lieu en une infinité de cas, & n'influe beaucoup ſur l'hexagoniſme ſi ordinaire dans la Nature. Les yeux ou les cryſtallins de la plûpart des mouches, raſſemblés par milliers aux deux côtés de leur tête, ne nous préſentent que des hexagones; les alvéoles des rayons de miel, les capſules des graines de pluſieurs plantes ſont hexagones, & preſque tous les cryſtaux dans leur formation ne conſiſtent qu'en des pyramides ou des priſmes ſexangulaires. Cependant eſt-il bien ſûr qu'il n'y ait dans tous ces cas que la théorie de Deſcartes à conſulter? Le pentagoniſme n'eſt guère moins commun dans la Nature: quantité de plantes nous l'indiquent également par les capſules de leurs graines, & par les pétales ou feuilles de leurs fleurs, les étoiles marines par leurs rayons, pluſieurs foſſiles, & preſque tous les échinites par la diſpoſition de leurs piquans.

Je ne penſe donc nullement que cette théorie ſoit applicable au phénomène dont il s'agit, non plus qu'à une infinité d'autres qui peuvent lui reſſembler.

Car 1° Pourquoi les petits globules d'eau qui compoſent la nue ne s'aſſemblent-ils que ſur un plan? Que deviennent ceux qui ſe trouvent pêle-mêle au deſſus & au deſſous de ce plan? Que pourroit-il jamais ou preſque jamais réſulter d'un tel aſſemblage fortuit, que des grumeaux plus ou moins approchans

de la sphéricité, des pelotons, comme on en voit quelquefois dans certaines grêles?

2° Par quelle complication de hasards six de ces globules d'un second rang circulaire qui, à la rigueur, en contient près de douze & demi autour des six premiers, viendroient-ils s'ajuster précisément sur le même plan, sur les mêmes six rayons menés du centre, & ainsi des rangs supérieurs? Ne devroient-ils pas plûtôt tomber entre deux globules & dans l'angle formé par les rayons? N'y trouveroient-ils pas plus de facilité à se loger? N'y seroient-ils pas poussés par leurs voisins des rangs supérieurs? Car un corps pressé de toutes parts par ceux qui l'environnent, se dirige toûjours vers le côté où il est le moins pressé, comme ici, par exemple, vers le vuide ou l'intervalle que laisseroient entr'elles les extrémités des deux rayons. Ajoûtez que la difficulté de ces hasards, & je pourrois dire l'impossibilité, croît en raison de la longueur des rayons, par rapport à leur grosseur; car il y a alors d'autant plus de rangs à imaginer. Or la grosseur des rayons dans ces étoiles les plus simples, ne fait pas quelquefois la 10me partie de leur longueur.

3° Quand nous admettrions contre tous ces principes la formation d'une de ces étoiles à six rayons simples & dans un même plan, comment concevrions-nous la formation de celles qui sont plus composées, dont les rayons

ſont chargés de branches *, & ces branches d'autres encore, comme dans les arbres, où elles ſe ſubdiviſent à l'infini ! Qu'eſt-ce qui leur fait équilibre contre l'effort ou le heurt des globules d'eau ambians, vers le centre de l'étoile, ou à la partie inférieure du rayon primitif avec lequel elles font un angle de 120 degrés, complément à celui de 60 qu'elles font avec la partie ſupérieure de ce même rayon, & ainſi de ſuite pour les branches qui naiſſent des rayons ſécondaires ! La répétition conſtante de cet effet contre toutes les règles de Statique, ne prouve-t-elle pas & la fauſſeté d'un tel méchaniſme en pareil cas, & la certitude d'une autre cauſe ! Il y a auſſi tout lieu de croire, que Deſcartes, dont le principe eſt d'ailleurs excellent, n'avoit vû que de la neige où les étoiles étoient beaucoup moins compoſées que celles dont nous venons de parler, mais beaucoup plus que celles que nous avons appellées ſimples : c'eſt-à-dire, que leurs ſix pointes ſembloient ſans doute y retenir viſiblement la figure des ſix eſpaces triangulaires que laiſſent entr'eux ſix cercles qui en touchent un ſeptième de même diamètre.

4° Enfin ſi cette propriété de globules qui n'ont d'ailleurs nulle tendance, nul arrangement déterminé les uns à l'égard des autres, avoit lieu en pareil cas, ce qui eſt

* Voy. *Planche II, num. 5, fig. F.*

inconcevable, pourquoi les globules du sang d'un second ordre ne s'arrangeroient-ils pas de même de six en six autour d'un autre globule, & dans un même plan! Car dès que c'est la figure & le cas fortuit qui opèrent ces arrangemens, la matière n'y fait rien, & que ce soient des gouttes ou des globules de sang, d'eau, ou de telle autre substance quelconque, l'effet en doit être le même. Les globules du sang auroient seulement cet avantage, qu'une egalité plus parfaite règne sensiblement entre ceux de l'ordre inférieur qui en doivent produire un plus gros; ce qu'on ne peut pas supposer de même entre les gouttes d'eau, & qui est pourtant requis pour la propriété géométrique. D'où vient, en un mot, que la loi géométrique de l'arrangement hexagonal dans un même plan n'a aucune prise sur ces globules? Car, comme nous l'avons vû dans le Chapitre précédent, ils s'arrangent quarrément & de quatre en quatre sur ce plan, laissant un espace vuide au milieu, sur lequel s'ajuste un autre globule du même ordre, & un autre au dessous, pour former le gros globule composé de ces six secondaires, & ainsi de suite de ceux du troisième ordre à l'égard de ceux-ci, &c. Que devient, dis-je, en ce cas la raison géométrique des six globules autour d'un septième?

Il faut donc reconnoître dans les particules de glace

de glace qui forment les étoiles de la neige, comme dans les globules du ſang, une autre cauſe, une cauſe active, un méchaniſme plus caché, plus compliqué, & dont nous ignorons le détail, une direction de fibres, de pores, ou de tuyaux, &, je ne crains point de le dire, une eſpèce d'organiſation qui rend ces particules ſuſceptibles du mouvement ou de la tendance que leur imprime quelque fluide ſubtil qui ſe meut dans leurs interſtices, ou dans les parties mêmes qui les compoſent, & qui les détermine à cet arrangement conſtant, toûjours relatif à l'angle de 60 ou de 120 degrés.

Nous toucherons encore quelque choſe de ce principe de fait, qui eſt de la dernière importance, dans un des chapitres ſuivans, & toutes les fois que l'occaſion ſe préſentera de le confirmer.

CHAPITRE X.

Troiſième cauſe de l'augmentation de volume de l'eau dans ſa congélation, le dérangement des parties en vertu de leur tendance à former entr'elles un angle de 60 degrés.

CETTE tendance vient d'être prouvée autant que pouvoit le comporter le ſujet; on a vû de plus, & par l'inſpection

même de la congélation de l'eau, ou que ſes parties intégrantes doivent être oblongues, ou que les premiers amas ſenſibles qui en réſultent dans la congélation, ſont oblongs. De ces deux faits ſuit évidemment un principe de dilatation & d'augmentation de volume dans l'eau qui ſe glace. Des parties oblongues qui font effort pour ſe joindre & s'agroupper ſous un angle quelconque, doivent néceſſairement s'écarter les unes des autres en divergence du côté oppoſé à leur jonction, & d'autant plus que cet angle eſt plus grand, ou approche davantage de l'angle droit. Celui de 60 degrés, que toutes nos obſervations nous indiquent comme le plus ordinaire, ſeroit ſans doute beaucoup plus grand qu'il ne faut pour donner l'augmentation de volume de l'eau qui ſe glace, ſi la tendance qui le produit pouvoit s'y exercer dans toute ſon étendue; mais c'eſt vrai-ſemblablement ce qui ne ſauroit arriver dans une maſſe un peu conſidérable d'eau qui ſe gèle, quelque grand que ſoit le froid qui en occaſionne la congélation. La matière éthérée qui en entretenoit la liquidité ne peut l'abandonner, ni aſſez promptement, ni aſſez parfaitement, pour produire un ſi grand effet, qui n'a lieu que ſur de petites particules d'eau d'où cette matière peut aiſément s'échapper de toutes parts, & paſſer dans le milieu envi-

ronnant, lorſque par ſa ſtructure le corps ſolide ou fluide qui conſtitue ce milieu eſt propre à la recevoir. C'eſt ce qu'on peut remarquer dans la neige, je ne dis pas ſeulement dans cette neige étoilée dont nous avons parlé, mais dans la neige la plus commune. Qu'on conſidère un de ſes flocons à la loupe ou au microſcope, on le verra tout compoſé de petits filets de glace, de petites aiguilles grouppées les unes contre les autres, &, autant qu'on en peut juger à la vûe, ſous l'angle d'environ 60 degrés, ou ſous une infinité d'autres angles, toûjours fort grands, & jamais ou preſque jamais parallèlement à leurs voiſines. Je dis preſque jamais, car outre que la vérification exacte des angles ſeroit ici aſſez difficile, il n'eſt pas étonnant que des flocons de neige, par leur choc mutuel dans la nue, par leur chûte, par la réſiſtance de l'air qu'ils ont à traverſer, ou par l'impulſion du vent, ſe trouvent un peu comprimés en divers ſens, & que des parties auſſi déliées & auſſi friables que celles qui les compoſent, ſe dérangent un peu entr'elles, & s'écartent plus ou moins de la poſition qu'elles avoient auparavant, ou qu'elles auroient eue ſans ces obſtacles. Voilà un exemple ſenſible de ce que peut la tendance dont il s'agit, quand elle s'exerce librement ſur de petites parcelles d'eau. Le volume qui en réſulte eſt

tel, que 10 ou 12 pouces cubiques de neige ne donneront pas quelquefois un pouce cubique d'eau, tandis que l'augmentation de volume dans une maſſe liquide d'eau qui ſe gèle, ne ſurpaſſe guère la dixième partie de ſon volume dans ſon état ordinaire de liquidité, comme nous le verrons en ſon lieu.

Les deux premières cauſes que nous avons aſſignées à l'augmentation de volume de l'eau qui ſe glace, ſont très-réelles; mais comparées à celle-ci & au phénomène, elles me paroiſſent foibles, reſtraintes à certains cas, & ſouvent inſuffiſantes.

L'une, toute fondée ſur la dilatation de l'air qui reſte dans l'eau pendant la congélation, & l'autre ſur le trouble & le dérangement qu'y cauſe l'air qui en ſort, devroient également ceſſer d'agir, ou n'agir que bien foiblement, lorſque l'eau a été purgée d'air, ſoit par des ébullitions réitérées, ſoit par le moyen de la machine pneumatique; mais c'eſt ce qu'on ne voit point arriver. La glace qui en réſulte ſe trouve toûjours avoir acquis à peu de choſe près la même augmentation de volume que celle de l'eau ordinaire: preuve qu'il y reſtoit donc encore une cauſe d'expanſion indépendante des deux autres, & qui leur eſt vrai-ſemblablement très-ſupérieure.

C'eſt une expérience que j'ai faite plu-

sieurs fois avec beaucoup de soin, & qui a été tentée de même par d'autres personnes *(a)* très-capables d'y réussir, si la chose eût été possible : jamais on n'a pû parvenir à produire de la glace qui tombât au fond de l'eau. Il faudroit pourtant que cela arrivât, si l'air dilaté qui reste dans l'eau, & le dérangement des parties causé par celui qui en est sorti, étoient la seule cause de l'augmentation de l'eau glacée, ou la plus forte. Car quand même l'extraction de l'air dans la machine pneumatique ne seroit pas parfaite, comme elle ne le sauroit être en effet, la condensation survenue aux parties propres de l'eau pendant son refroidissement, & qui seroit très-considérable, devroit l'emporter sur l'effet de la petite quantité d'air qui y reste. Je sais que M. Homberg fit en 1693 *(b)* une expérience d'où il conclut avoir eu de la glace plus pesante & de moindre volume que l'eau dont elle avoit été formée : mais ce fut sur la seule inspection du morceau de glace que M. Homberg en jugea, & non sur l'enfoncement de cette glace dans l'eau, qui est, selon moi, la seule preuve décisive & sans replique, de la légèreté ou de la pesanteur de la glace par rapport à l'eau. Le volume apparent est sujet à mille exceptions, &

(a) Par M. Boyle, *Transf. Phil. nº 62.*
(b) Mém. de l'Acad. *To. X, p. 255.*

ſur-tout à celle de la diſſipation inſenſible des parties extérieures du morceau de glace, qui, comme nous le verrons en ſon lieu, peut être fort grande.

Dailleurs, ſi l'on ne fait attention qu'à l'effort de l'air renfermé en bulles dans le liquide, & à la force qu'il y doit avoir, pour faire crever les vaiſſeaux que l'on voit rompre par la glace, l'effet paroît être plus grand que ne le comporte ſa cauſe uniquement attribuée à l'air. Et à l'égard du dérangement qui ſurvient aux parties de l'eau par la ſortie de l'air intérieur d'entre ſes interſtices, au moment de la congélation, l'effort qui en réſulte devant être encore proportionnel à celui que fait ce même air pour en ſortir & pour les déranger, il eſt difficile de concevoir qu'il en puiſſe naître ce gonflement preſque invincible, ſi quelqu'autre cauſe ne s'y mêle; & cette cauſe eſt, à mon avis, la troiſième. Les exemples ſuivans mettront le lecteur en état d'en juger.

CHAPITRE XI.

De la force de l'eau qui se glace, pour rompre les vaisseaux où elle étoit renfermée, par le concours de toutes les causes qui contribuent à son expansion.

IL est beaucoup plus aisé de se convaincre que cette force est très-grande, que d'en assigner les bornes. Tout le monde a vû crever des vaisseaux épais & d'une matière très-dure, par la congélation du liquide qui y étoit contenu, & nous en avons déjà indiqué les circonstances en décrivant ce qui se passe dans le liquide aux approches de la congélation, & pendant la congélation. Il ne nous reste maintenant qu'à rapporter sur ce sujet quelque chose de plus positif.

Deux gros flacons de porcelaine remplis d'eau, qui étoient sur une cheminée où l'on faisoit du feu pendant le jour, & à l'ouverture desquels j'avois mis des oignons d'hyacinthe, se trouvèrent rompus par la glace le lendemain d'une nuit d'hiver très-froide, & les morceaux de porcelaine qui en étoient tombés, avoient au moins un demi-pouce d'épaisseur.

On lit dans l'histoire de l'Académie des

Sciences, année 1670, que M. Buot répéta ſur ce ſujet une expérience déjà faite par M. Huguens en 1667. Un canon de fer épais d'un doigt, rempli d'eau, & bien fermé, ayant été expoſé à une forte gelée, ſe trouva caſſé en deux endroits au bout de douze heures. Ainſi l'eau qui ſe gèle a autant de force en pareil cas, que la poudre à canon qui s'enflamme, & apparemment beaucoup plus que l'air le plus comprimé dans les arquebuſes à vent.

Mais nous n'avons rien là-deſſus de ſi ſuivi, ni de mieux circonſtancié, que ce qui fut fait dans l'Académie de Florence *(a)*. Entre pluſieurs vaiſſeaux de verre & de différens métaux, la plûpart ſphériques ou ſphéroïdes, & fort épais, ſur leſquels on fit cette expérience, & qui crevèrent tous, il y en eut un de cuivre, ſur lequel M. Muſſchenbroek a calculé l'effort néceſſaire pour le faire rompre, effort qu'il a trouvé capable de ſoûlever un poids de 27720 livres *(b)*.

Les plus petites parcelles d'eau converties en glace parmi les fibres des bois les plus durs, ſuffiſent quelquefois pour en rompre tout le tiſſu. J'ai eu long-temps ſous les yeux de triſtes preuves de la certitude de ce phénomène en Languedoc &

(a) Saggi di naturali eſperienze, &c.
(b) Addit. ad Tentam. Exp. Acad. del Cimento, p. 135.

en Provence, aux endroits où il y avoit des oliviers : car, comme on le penſa alors dans l'Académie des Sciences *, le rigoureux hiver de 1709 ne fit mourir ces arbres, & quelques autres, tels que les lauriers, les cyprès, les figuiers, les chênes-verds, que parce qu'une forte gelée les ſurprit après un dégel ou une fonte de neiges, à l'occaſion de quoi leurs racines s'étoient imbibées de beaucoup d'eau. Cette eau venant à ſe glacer dans les petits tuyaux où elle s'étoit gliſſée, ſe dilata, écarta les fibres & toutes les parties organiques de l'arbre, qui lui faiſoient obſtacle, y cauſa une violente diſtenſion, & les rompit. Ce furent même les arbres *les plus vieux & les plus forts qui moururent en plus grande quantité,* parce que leurs fibres ſe trouvèrent moins flexibles.

Les pierres encore tendres qui ont été mouillées un peu avant la gelée, dépériſſent & s'éclatent par feuillets. Les marbres mêmes, lorſqu'ils ont été pétardés, & que l'effort ſubit de la poudre qui en étonne toute la maſſe, y a produit mille petites fêlures inſenſibles où l'eau s'inſinue & ſe gèle, ſont ſujets à tomber dans le même cas : ce que les Sculpteurs & les Architectes ne doivent pas ignorer.

(b) Hiſt. de l'Acad. 1710, *p.* 59.

CHAPITRE XII.

Que la tendance à s'assembler sous un angle de 60 degrés, & l'effort d'expansion qui en résulte dans les particules d'eau qui se glacent, ont lieu indépendamment du froid & de la congélation, en des circonstances semblables à celles de la congélation.

CE que nous venons de voir de l'effort que fait l'eau pour se dilater pendant la congélation, & pour rompre les vaisseaux qui la contiennent & qui s'opposent à sa dilatation, s'est borné jusqu'ici à la congélation même. Mais la congélation ne seroit-elle point simplement une cause occasionnelle de cet effet ! Cet effet en est-il inséparable ! En un mot, les parties intégrantes de l'eau ou ses molécules n'auroient-elles point par leur structure, par la matière éthérée élastique qui les pénètre ou qui les anime, & indépendamment de la congélation & du froid, un principe d'expansion & de ressort, qui ne demande pour se montrer, que des circonstances équivalentes à celles de la congélation ! C'est assurément ce qui mérite d'être examiné, & qui doit achever de mettre dans son jour la théorie

que nous avons proposée sur ce sujet.

Un liquide se glace lorsque la matière subtile, éthérée ou élémentaire du feu, qui constituoit sa liquidité, s'affoiblit de quantité & de ressort entre les interstices des parties qui le composent, ou qu'elle s'en échappe pour passer dans le milieu environnant, ainsi que nous l'avons expliqué dans la première partie de cette dissertation. Mais ces circonstances ne seront-elles pas les mêmes ou équivalentes, lorsque le liquide subdivisé en de trop petites parcelles pour faire encore un tout sensiblement liquide, laissera échapper de toutes parts la matière éthérée qui l'entretenoit dans sa liquidité, ou lorsque ces parcelles environnées d'une substance, soit fluide, soit solide, où cette matière se meut plus aisément, s'en trouveront dépourvûes! Et si ce liquide ainsi subdivisé & imbibé dans cette substance, vient à y exercer une force de ressort, à se dilater, ou à la faire dilater, quoiqu'actuellement privée par elle-même de cette force, ne pourra-t-on point dire que les parcelles du liquide en étoient douées, quelle que soit la cause qui la leur communique! Or c'est-là précisément ce qui arrive à l'eau, dans certaines substances qu'elle pénètre, ou dont elle est pénétrée : elle y exerce cette même force. Donc les parties de l'eau ont en elles-mêmes une force d'expansion & de

reſſort indépendamment de la congélation.

Voilà le raiſonnement; conſultons l'expérience.

La terre proprement dite, & qu'il faut bien diſtinguer du ſable, quelque fin qu'il puiſſe être, eſt du nombre de ces ſubſtances que l'eau pénètre en ſe ſubdiviſant, pour ainſi dire, juſque dans ſes derniers élémens. Tout corpuſcule de pouſſière, de terre, ou de glaiſe, qui n'eſt qu'une terre graſſe, formera toûjours un tout ſpongieux perméable à l'eau, tandis que chaque grain de ſable n'eſt qu'une eſpèce de cryſtal où l'eau ne ſauroit s'imbiber. C'eſt ce que M. de Reaumur a parfaitement prouvé dans le Mémoire qu'il donna en 1730 à l'Académie des Sciences, *ſur la nature de la terre en général*, & qu'il a prouvé par une infinité d'expériences & de faits inconteſtables qu'on trouvera dans cet excellent Mémoire. Je me contenterai d'y en ajoûter un que j'ai ſouvent obſervé, & qui eſt ſous les yeux de tout le monde.

On voit ſouvent dans les jardins, ſur les terraſſes, & en bien des maçonneries horizontales expoſées aux injures de l'air, des marches d'eſcalier, & de grands quartiers de pierre qui ſe trouvent écartés les uns des autres d'un intervalle de pluſieurs pouces rempli de terre. Comment un pareil écartement a-t-il pû ſe faire, malgré le poids &

le frottement énormes qu'il y avoit à vaincre ? Il ne faut qu'y réfléchir un moment, & savoir la propriété caractéristique de la terre, pour le concevoir. Un défaut de continuité, un intervalle ou une fente, d'abord imperceptible, entre les deux quartiers de pierre, y admet un peu de poussière terreuse ; cette poussière s'abreuve d'eau par les pluies ou les rosées, se gonfle, les écarte d'autant, & l'intervalle augmente. La sécheresse survient, la terre se condense, laisse un vuide entre deux, de nouvelle poussière s'y loge encore, & cette succession alternative de nouvelle terre, d'imbibition & de sécheresse, parvient enfin à écarter de très-grandes pierres, jusqu'à les déplacer entièrement de leur lit, malgré le mortier du dessous qui les y tenoit enchâssées.

La terre toute seule, & par la force du coin qu'elle ne peut exercer en cette occasion que par son poids, auroit-elle produit un tel effet ? L'eau toute seule, qui est dans le même cas, en eût-elle été capable ? Seroit-ce l'air qui s'est dégagé de l'eau ? Mais l'air, tout élastique qu'il est, n'a rien de pareil à cette force, si une chaleur excessive, ou une compression étrangère, & provenant elle-même d'une force active, ne la lui communique ; & l'on ne voit ici aucun de ces principes de force active, ni de dilatation prodigieuse dans l'air ni dans l'eau. Quelle est

donc la nouvelle force qui naît du mélange de cette eau avec un peu de terre ? Nous venons de l'indiquer.

M. de la Hire rapporte, à l'occaſion d'une ſemblable force, un fait d'ailleurs aſſez connu *, mais qui mérite ici toute notre attention. Il y a des carrières, & c'eſt ordinairement de celles qui tiennent de la nature du caillou, & qu'on appelle *molières*, parce qu'on en tire les meules de moulin; il y a, dis-je, des carrières où pour fendre de très-groſſes pierres, & pour les détacher du roc, on ne fait autre choſe que creuſer tout autour, & fort proche les uns des autres, de petits trous d'environ deux pouces de profondeur, ſur trois ou quatre lignes de groſſeur ou de diamètre. On y fait entrer de force autant de chevilles de bois de ſaule bien ſéché au four; on jette enſuite de l'eau par-deſſus, les chevilles s'en imbibent, ſe gonflent, & tout le bloc de pierre ſe fend, ou, ſi c'eſt une meule de moulin & encore attachée au rocher, elle s'en ſépare.

Qu'on calcule maintenant la force équivalente qu'il faudroit faire agir pour ſoûlever de tels poids, & en même temps pour vaincre une pareille ténacité de parties. Ce ſont cependant quelques gouttes d'eau introduites dans la ſubſtance poreuſe du ſaule qui font l'office de cette force, & qui opèrent la

* Mém. de l'Acad. *T. IX, p. 495.*

merveille. Mais par quelle force cette eau s'y eſt-elle introduite ! & par quelle méchanique y exerce-t-elle un effort ſi prodigieux ! Je n'y vois que l'action tranquille & , pour ainſi dire, ſpontanée de ſon poids. On auroit beau alléguer encore la raiſon du coin : le coin n'agit pas tout ſeul, ou il n'agit que par ſon poids, ſi une impulſion étrangère ne vient à ſon ſecours. Et où eſt ici cette impulſion ! où eſt ce poids équivalent à l'égard de l'eau qui ſe trouve engagée dans les pores du bois ! Il faut donc reconnoître dans les parties de l'eau une force d'expanſion qui leur eſt propre, & qui ne conſiſte vrai-ſemblablement qu'en cette tendance à s'incliner les unes vers les autres ſous un angle déterminé qui s'y manifeſte dans la congélation.

Donc la terre, le bois & toutes les autres ſubſtances où les particules aqueuſes exercent un ſi violent effort, n'en ſont que la cauſe occaſionnelle, en tant que l'eau s'y trouve ſubdiviſée au point de perdre ſa liquidité & de recouvrer ſa tendance angulaire & expanſive dans les parties qui la compoſent. Quel que ſoit le milieu où l'eau ſe trouvera ſous cette forme , l'air, le vuide ou un fluide quelconque, nous y obſerverons les mêmes effets.

Perſonne n'ignore l'effort prodigieux des vapeurs renfermées dans un eſpace aſſez

étroit pour s'oppoſer à leur dilatation; la machine à feu inventée en Angleterre n'a pas un autre principe. Mais qu'eſt-ce qu'un amas de vapeurs, ſi ce n'eſt un fluide qui réſulte dans cette occaſion des parties diſjointes d'un liquide ! Les vapeurs ne ſont donc que des particules d'eau très-amincies, & qui, étant arrivées à ce degré de ſubdiviſion où la matière ſubtile qui les pénétroit, paſſe en tout ou en partie dans l'eſpace ambiant, tel que l'air, ou le vuide quelconque, ſe réuniſſent en convergence ſous l'angle déterminé qu'elles affectent, ſe dilatent, arcboutent les unes contre les autres en manière de chevrons, & rempliſſent ainſi, ou tendent à remplir, un eſpace indéfiniment plus grand & treize à quatorze mille fois plus grand que celui qu'elles occupoient étant réunies ſous la forme liquide; c'eſt un amas d'autant de reſſorts, ou ſeuls, ou concourans au même effet avec ceux de l'air: d'où il ſuit que l'eau, qui dans ſon état de liquidité eſt ſenſiblement incompreſſible, & conſéquemment non élaſtique, devient par ce changement & par cette ſubdiviſion de parties, & compreſſible, & élaſtique *.

J'avoue que tous ces faits, & beaucoup d'autres que je ſupprime, ne prouvent à la

* Voy. les Exp. de M. Clayton, *Phil. tranſ. 1739, num. 454,* pour montrer *que l'eau agitée par le feu eſt infiniment plus élaſtique que l'air.*

rigueur que la grande force expansive des parties intégrantes de l'eau, ou de ses molécules réduites à un certain degré de petitesse, & nullement leur tendance précise à s'assembler sous l'angle de 60 degrés. Mais l'induction en est si naturelle, d'après ce que nous avons vû qui leur arrive dans la congélation, & sur-tout dans la formation des étoiles hexagonales de la neige, qui ne paroissent être en effet qu'un assemblage de filets de vapeur congelés & assemblés sous cet angle, que je ne pense pas qu'on puisse s'y refuser, jusqu'à ce que de nouveaux phénomènes la détruisent.

Il suit enfin de tout ce que nous venons de dire, & comme nous l'avons déjà observé, qu'au lieu que l'air intimement mêlé dans les autres substances, y perd sensiblement le ressort dont il étoit doué en masse ou dans son état de fluidité, l'eau au contraire y recouvre le sien, par cela même qu'elle y perd son état de liquidité. Or que l'air perde sensiblement son ressort, ou, ce qui revient au même, sa compressibilité dans les substances où il se mêle intimement, & telles que l'eau, par exemple, où l'on sait qu'il est en très-grande quantité, cela n'est pas douteux, puisque le tout, ou l'eau dans son état de liquidité, est sensiblement incompressible. Des effets cependant si contraires en apparence, peuvent fort bien n'avoir qu'une seule

& même cauſe qui agit différemment ſur des parties d'une configuration & d'une ſtructure différentes. Mais prenons garde auſſi que les parties de l'air & celles de l'eau, dans des eſpaces libres, & lorſqu'elles ſont les unes & les autres dans un état de fluidité proprement dite, y exercent ſemblablement leur reſſort. Car, comme nous en avons averti dans nos définitions, l'eau réduite en vapeurs ceſſe d'être un liquide, & ne forme plus qu'un fluide.

SECTION II.

Des Phénomènes de la congélation, relativement à l'état & aux circonstances où se trouve l'eau qui doit se geler. Questions particulières.

CHAPITRE PREMIER.

Si l'eau qu'on a fait bouillir, a une disposition plus prochaine à se glacer.

C'EST une opinion communément reçue, & très-ancienne, que l'eau qui a bouilli se gèle plus promptement, &, en général, se refroidit davantage à un même degré de froid, que de pareille eau qui n'a point été altérée par l'ébullition. Témoin la fameuse eau cuite ou bouillie de Néron, *Neronis decocta*, qui acquéroit par-là, selon Pline *, la propriété de devenir plus froide qu'elle n'auroit fait auparavant, par le moyen de la neige dont on entouroit le vase où on la versoit, & cela, ajoûte-t-il, sans participer des qualités mal-faisantes de la neige. Je crois même que le préjugé a été poussé jusqu'à

* Hist. Nat. *l. 31, c. 3, num. 23.*

dire que de l'eau qui vient de bouillir & qui n'eſt pas encore refroidie, ſe glacera plûtôt que de l'eau froide ordinaire qu'on expoſeroit à la même gelée.

Quelque abſurde que paroiſſe cette dernière propoſition, je n'ai pas voulu me diſpenſer d'en tenter l'expérience. Mais le ſuccès a été tel qu'on devoit l'attendre; l'eau qui venoit de bouillir n'étoit pas encore tiède que l'autre étoit déjà glacée.

Arrêtons-nous donc à l'eau bouillie qu'on a laiſſé refroidir au même degré que l'eau *crue* qu'on expoſe en même temps avec elle. Il n'eſt pas ſi aiſé de prévoir ce qui en doit arriver.

J'ai mis deux quantités égales d'eau de rivière, dont l'une avoit bouilli, dans deux vaſes ſemblables de même matière & de même grandeur, après avoir vérifié, en y plongeant le thermomètre, & une ou deux heures après l'ébullition de la première, qu'elles étoient au même degré de froideur, ſavoir, à 5 ou 6 degrés de celui de la congélation, & je les ai expoſées à la gelée ſur la même fenêtre. J'ai répété pluſieurs fois cette expérience & à différentes repriſes, & j'ai trouvé que la congélation de l'une & de l'autre arrivoit à peu près dans le même temps, c'eſt-à-dire, que ce moment étoit ordinairement le même pour les deux, & que quelquefois il y avoit de la différence

d'une ou deux minutes, tantôt à l'égard de l'eau bouillie qui ſe geloit la première, tantôt à l'égard de l'eau crue dont la congélation étoit plus prompte; ce qui ne doit pas ſurprendre dans ces ſortes d'expériences où mille petites circonſtances imperceptibles doivent amener de pareilles variétés dans les réſultats. D'où je conclus, comme d'habiles Phyſiciens * l'ont déjà fait avant moi, que la différence, s'il y en a en vertu de l'ébullition, eſt inſenſible.

Il en eſt de même de la neige & de la glace fondues lorſqu'on les fait geler de nouveau & avec les mêmes précautions, en comparant les temps de leurs congélations à celui de la congélation d'une eau qui n'avoit pas gelé de tout l'hiver.

On voit par-là combien il faut ſe défier des vrai-ſemblances ſur ces matières; car, toutes choſes d'ailleurs égales, l'eau qui a bouilli paroîtroit en effet devoir ſe geler la première, & beaucoup plûtôt, conformément à l'opinion commune. En voici les raiſons.

Quoique tout ce qui s'élève en forme de bulles d'air de l'eau actuellement bouillante, ne ſoit pas en effet de l'air qui ſe dégage de cette eau, & que ce puiſſe être en partie, ou de la vapeur très-raréfiée, ou une eſpèce de vuide à cet égard, ou ſeu-

* Mariotte, *Traité du mouvement des eaux, in 12; p. 11.* Perrault, *Expériences ſur la Congélation, num. 1.*

lement de la matière ſubtile ou ignée, on ne peut douter cependant que l'ébullition n'en chaſſe une grande quantité d'air : ce qui eſt prouvé par pluſieurs expériences, & ſur-tout par celle de la glace même qui ſe forme de cette eau, & qui eſt toûjours, du moins en apparence & à cet égard, plus compacte, moins poreuſe & moins parſemée de groſſes bulles viſibles, que celle qui n'a pas bouilli, comme il a été remarqué dans la Section précédente. Or ce grand mouvement dans l'eau qui ſe gèle, devant retarder ſa congélation, il ſemble que celle qui a bouilli, & où, pendant la congélation, il monte moins de ces groſſes bulles d'air qui la diviſent, & qui l'agitent vers ſa ſurface à meſure qu'elles s'en échappent, devroit ſe geler à proportion plûtôt que celle qui n'a pas bouilli & qui eſt par-là plus expoſée à cette agitation.

On pourroit croire que le temps qu'on donne à l'eau bouillante pour ſe refroidir au point de celle qu'on lui veut comparer, laiſſe à l'air celui de s'inſinuer de nouveau dans ſes interſtices ou autour de ſes parties, de s'y mêler intimement, & en quelque ſorte de s'y diſſoudre, & de la remettre par-là dans le même état que celle qui n'a pas bouilli ; mais quoiqu'il ſoit vrai que l'eau purgée d'air par l'ébullition, ou par la machine pneumatique, s'en imprègne de nou-

veau dès qu'elle y eſt expoſée, il paroît cependant par toutes les expériences qui en ſont venues à ma connoiſſance, & principalement par celles de M. Mariotte *(a)*, que la rentrée entière de l'air que l'eau avoit perdu ne ſe fait qu'en 7 à 8 jours. D'où il ſuit qu'elle en devoit être encore fort dépourvûe dans le cas de notre expérience & de la queſtion.

Mais il y a plus, les parties intégrantes de l'eau ſont-elles ſi égales, ſi uniformes, qu'il n'y en ait point de plus volatiles les unes que les autres, & qui s'exaltent par l'ébullition? Le Chancelier Bacon, qui avoit fait bien des réflexions ſur ce ſujet, s'étoit déterminé pour l'affirmative, & un grand médecin Chymiſte de nos jours, qui a traité particulièrement de l'eau *(b)*, eſt de ce ſentiment, *que l'eau paroît être compoſée de parties plus ſubtiles, & d'autres un peu plus peſantes;* que *les premières, comme plus propres au mouvement, montent le plus aiſément, & s'élèvent en haut, à l'approche de la chaleur.... qu'en faiſant bouillir l'eau, les parties les plus ſubtiles s'en exaltent, & que les plus groſſières & les moins utiles* à la ſanté *demeurent.* Cela poſé, qui ne croiroit que l'eau, dont on a ainſi

(a) Diſcours de la nature de l'air.

(b) Frid. Hoffman. *Diſſ. phyſ. & med. ſur la vertu de l'eau commune, § VII.* Dans le *Recueil des pièces ſur les vertus médicinales de l'eau commune.*

enlevé les parties les plus volatiles, n'occasionnât plûtôt, & à un moindre froid, la diminution de mouvement de la matière éthérée qui entretenoit sa liquidité, & ne dût se glacer beaucoup plus promptement que celle qui seroit dans son état naturel?

Il résulte du moins de toutes ces observations, ou que les parties intégrantes de l'eau sont plus uniformes qu'on ne se l'imagineroit d'après ces expériences, ou que les parties les plus subtiles de l'eau ne se séparent pas si aisément des plus grossières, & qu'enfin les unes & les autres sont bien difficiles à décomposer, ou même à se déranger de l'ordre qu'elles gardent entr'elles, & qu'elles reprennent si-tôt qu'elle retourne à son état naturel. Car il y a certainement quelque arrangement propre des parties de l'eau entr'elles, & qu'elles affectent, soit pendant sa liquidité, soit au moment de sa congélation, comme nous l'avons vû dans la Section précédente.

On pourroit faire une plus forte épreuve de cette espèce d'immutabilité de l'eau par le moyen de la machine ou du *Digesteur* de Papin; puisqu'on assure* que la chaleur de ce liquide y est portée au point de fondre le plomb & l'étain qu'on y a suspendus avec du fil de fer ou de laiton, la chaleur ordinaire de l'eau bouillante étant, comme on sait, fort

* Musschenbroek, *Essai de Physique*, p. 434.

inférieure,

inférieure à celle qu'exige la fonte de ces métaux *, & paſſant même communément pour invariable, du moins dans le même climat, & au même degré de compreſſion de l'atmoſphère, indiqué par le baromètre. Mais outre qu'il me reſte quelque ſcrupule ſur ce plomb & cet étain fondus par le contact de l'eau, plûtôt que par le fer & les parois intérieures de la machine qui en ſont ſi proches, je ne ſais s'il convient d'appeller chaleur de l'eau celle d'un tout ainſi pénétré des parties du feu, comme l'eſt le bois lorſqu'il eſt réduit en charbons ardens. Toutes les ſubſtances, dont on auroit rempli un ſemblable eſpace, me paroîtroient en ce cas également ſuſceptibles de chaleur. Quoi qu'il en ſoit, n'ayant pû juſqu'ici m'en éclaircir par moi-même, je ne puis dire ce qui en arriveroit à de l'eau ainſi pouſſée de chaleur lorſqu'on la feroit geler.

Quant au ſimple refroidiſſement de l'eau qui a bouilli, & qu'on a cru plus parfait que celui qu'elle auroit acquis ſans cela; en ayant fait l'expérience, tant ſur de pareille eau qu'on avoit tenue quelques heures

* La chaleur du plomb fondu, par exemple, ſelon une Table ou *Echelle des degrés de chaleur*, qu'on trouve dans les Tranſactions philoſophiques, n.° 270, eſt, toutes réductions faites au thermomètre de M. de Reaumur, d'environ 232 degrés au deſſus du terme de la congélation, tandis que celle de l'eau bouillante ne va tout au plus qu'à 82 degrés.

au fond d'un puits, que sur celle dont on avoit entouré le vaisseau de neige ou de glace, l'une & l'autre comparée à de l'eau qui n'avoit pas bouilli, & dans les mêmes circonstances, je n'y ai encore trouvé aucune différence sensible.

CHAPITRE II.

Si les grandes Rivières commencent à geler par leur superficie, ou par le fond de leur lit.

COMME cette question n'en fut jamais une pour moi, & que lorsque je mis la main à cet ouvrage, dans les éditions précédentes, je ne connoissois point d'observation ni d'expérience qui pût me faire naître des doutes sur ce sujet, je crus avoir suffisamment prévenu ceux du lecteur, en exposant, ainsi que j'ai fait dans le premier Chapitre de la Section précédente, la manière dont la glace commence à se former. Cependant l'opinion vulgaire, que la glace des rivières commence par leur fond, ayant trouvé depuis des défenseurs illustres, je ne saurois me dispenser d'en examiner les prétendus fondemens : mais je n'aurai guère besoin pour cela que de transcrire ici ce que j'en ai dit ailleurs *, en donnant le

* Hist. de l'Acad 1743.

précis d'un Mémoire que M. l'Abbé Nollet lut il y a quelques années à l'Académie des Sciences sur ce même sujet.

Quelque système qu'on suive sur la formation de la glace, il est évident que l'eau qui se durcit & se gèle ne reçoit cette nouvelle modification, que par le contact ou par l'approche de quelqu'autre corps dur ou fluide, dont le degré de froideur surpasse celui qu'elle avoit avant que de se geler, & va tout au moins jusqu'au froid de la congélation. Ce ne peut donc être que par sa superficie, par la partie la plus expotée à l'action de ce corps ou de ce fluide, de l'air, par exemple, que l'eau commence à se glacer; & c'est aussi ce que l'expérience confirme, & dont on convient en général.

Nous avons observé ci-dessus, que si dans un temps de gelée on présente à l'air froid un gobelet plein d'eau, on voit bien-tôt paroître à la superficie de cette eau de petits filets de glace, qui venant à se joindre bout à bout, ou latéralement, ou sous une certaine inclinaison, y forment d'abord une espèce de réseau, & enfin une pellicule sensible de glace, plus ou moins épaisse, selon que le froid est plus grand; & que, s'il étoit possible que ces premiers filets ou ces glaçons naissans se formassent au dessous de la surface de l'eau, ils y monteroient

auſſi-tôt par leur légèreté ; puiſque la peſanteur de la glace eſt, comme on ſait, & comme nous le dirons plus particulièrement, beaucoup moindre que celle de l'eau dans ſon état de liquidité : ce que l'expérience confirme encore, les premiers glaçons étant toûjours aperçus à la ſuperficie.

Par quelle circonſtance extraordinaire ces gros glaçons qu'on voit flotter dans les grandes rivières ſe ſeroient-ils donc formés au fond de l'eau, ou ſur le terrein qui eſt au deſſous, avant que de monter à la ſuperficie ! La froideur de ce terrein n'étoit-elle pas avant la gelée, moindre que celle de la congélation ! Le froid qui a dû ſe faire ſentir dans l'atmoſphère n'a-t-il pas dû auſſi frapper la ſurface extérieure du liquide avant que de pénétrer juſqu'à celle du fond, & juſqu'au terrein qui la touche !

A une théorie ſi ſimple & ſi lumineuſe on oppoſe l'expérience, ou, pour parler plus exactement, le témoignage d'un nombre de gens fort peu en état de diſcerner & de conſtater l'expérience, ſi ſouvent douteuſe ou équivoque. Les meuniers, les pêcheurs, les bateliers, les matelots des grandes rivières, & le peuple qui en fréquente les bords, dépoſent unanimement en faveur du préjugé, que la glace ſe forme au fond des rivières, & ſur le terrein de leur lit plûtôt qu'à la ſurface de l'eau ; ils diſent en avoir

vû monter les glaçons, ou les en avoir arrachés avec leurs crocs, s'ils n'aiment mieux attribuer cet effet au Soleil qui les détache, disent-ils, du fond où ils s'étoient formés pendant la nuit, & qui les attire pendant le jour vers la surface. Il faut convenir cependant que quelques-uns en donnent une raison plus plausible, savoir, qu'on aperçoit souvent sur un des côtés du glaçon flottant des vestiges non équivoques du terrein & du gravier sur lesquels il s'est formé, & sur lesquels en effet il paroît avoir séjourné quelque temps, avant que de rouler avec les eaux.

Mais de semblables glaçons ne viendroient-ils point des bords de la rivière, des isles, des bancs de sable & des bas-fonds qu'elle rencontre dans son cours, & d'où ils auront été détachés & entraînés vers le courant? Ne faudra-t-il pas aussi en attribuer un grand nombre aux ruisseaux & aux petites rivières qui se jettent dans la grande, & qui par leur peu de largeur & la proximité de leurs bords n'en sauroient guère fournir que de cette espèce? Car on ne peut douter que ce ne soit, du moins en partie, à de semblables causes que sont dûs ces glaçons que les grandes rivières charrient pendant les fortes gelées. Quoi qu'il en soit, l'Académie consultée plus d'une fois sur cette question, s'en est toûjours tenue à la théorie générale, conformément à l'idée & aux

obſervations de ceux de ſes Membres qui avoient le plus travaillé ſur les phénomènes de la glace.

Voici cependant un Phyſicien diſtingué par la ſagacité qu'il fait paroître dans les expériences les plus délicates, qui excepte le cas dont il s'agit de la théorie générale, & qui embraſſe l'opinion vulgaire. M. Hales de la Société Royale de Londres, dans ſon excellent livre de la *Statique des Végétaux*, dit formellement avoir vû en même temps ſur une rivière, & la glace de la ſuperficie, qui avoit un tiers de pouce d'épaiſſeur, & à travers celle-ci une autre glace adhérante au fond, laquelle étant rompue ſe trouva être de près d'un demi-pouce. Cette glace de deſſous ſe joignoit, ajoute-t-il, à celle de deſſus au bord de l'eau, les deux lits de glace s'éloignant de plus en plus l'un de l'autre à meſure que l'eau devenoit plus profonde; & il attribue cet effet au courant de l'eau. « Comme l'on n'a jamais vû *, » dit-il, les étangs, les mares, & toutes » les eaux calmes commencer à ſe glacer » par le fond, il faut néceſſairement que le » courant de l'eau en ſoit la cauſe dans les » rivières; car il eſt ſûr que dans les eaux » calmes, auſſi-bien que dans la terre, la » ſurface eſt bien plus froide que le deſſous, » au lieu que dans les eaux courantes le

* De la traduction de l'Anglois, par M. de Buffon.

deſſus & le deſſous ſe mêlant enſemble, « deviennent à peu près auſſi froids l'un que « l'autre, & le deſſus ayant plus de vîteſſe « que le deſſous, & pas plus de froid, il ne « ſe glace que le dernier. »

Il faudroit donc ſavoir ſi l'obſtacle que le mouvement apporte à la congélation de la ſurface de l'eau, peut prévaloir ſur celui que le moins de froideur doit cauſer vers le fond : mais on verra bien-tôt que, toutes choſes d'ailleurs égales, le repos de l'eau, bien loin d'accélérer ſa congélation, la retarde, ou l'empêche même totalement dans de grandes gelées. Et de plus, pourquoi cette glace formée vers le fond à l'occaſion de quelque filet d'eau du deſſus qui s'y eſt porté, ne remonte-t-elle pas au deſſus dès l'inſtant de ſa formation, par la raiſon déja alléguée de ſa moindre peſanteur ? Mais nous n'examinerons pas davantage les ſuites d'une théorie qui ne ſauroit être admiſe qu'autant que le fait qu'elle ſuppoſe ſeroit certain. Il s'agit de le conſtater ce fait, ou de le détruire, ou de démêler ce qu'il y pourroit avoir d'équivoque. Le témoignage de M. Hales méritoit bien une pareille diſcuſſion, aſſez curieuſe par elle-même & digne de tous les ſoins que s'eſt donné M. l'Abbé Nollet pour la rendre concluante & déciſive.

Remarquons d'abord, 1° que les obſer-

vations rapportées par M. Hales, ont été faites dans un endroit de la rivière qui ſert d'abreuvoir, & où par conſéquent elle avoit peu de profondeur. 2° Que la glace qu'il y a vûe n'ayant qu'un tiers de pouce de profondeur, n'a pû lui permettre de marcher deſſus pour l'examiner plus avant. 3° Que le témoignage des pêcheurs eſt ſi ſouvent employé dans ce récit, qu'il eſt à craindre que M. Hales n'y ait mis trop de confiance.

Il convient qu'en général le deſſous de la glace qui ſe forme ſur les rivières n'eſt point uni, comme on le voit ordinairement à la glace des eaux dormantes; qu'il eſt moins compacte, & comme enduit d'une pouſſière de petits glaçons plus ou moins grumelés, en cela ſemblables aux pierres qu'on tire de la carrière, & qui ſont couvertes d'une partie tendre & plus rare, comme d'une eſpèce de duvet; que de plus, on y trouve ſouvent de la terre & mille ſaletés, telles qu'il y en peut avoir au fond des rivières. Mais M. l'Abbé Nollet eſt bien éloigné de croire que ces glaçons ſe ſoient formés ſur ce fond & au deſſous de l'eau, comme on le ſuppoſe, parce qu'on les y a vûs adhérans. Nous ne nierons pas cependant que des bateliers n'aient pû quelquefois retirer de gros morceaux de glace avec leurs crocs à quelques pieds de pro-

fondeur auprès des bords des rivières; mais ce n'eſt ſans doute que parce qu'il arrive auſſi quelquefois qu'après une gelée ſuivie d'un commencement de dégel, les rivières viennent à groſſir, & à ſe geler de nouveau, avant que la glace qui s'étoit formée la première fois à leurs bords, ait fondu, ou s'en ſoit détachée. Il n'en a pas fallu davantage à des gens ſans principes & peu exercés à douter, pour leur faire croire qu'une pareille glace s'étoit formée au deſſous de l'eau. Voilà le préjugé établi, & d'autant plus au gré de ceux qui l'ont fait naître, qu'il tient un peu du merveilleux. On ne manque pas enſuite de perſonnes plus éclairées qui l'adoptent, & qui l'autoriſent. Mais on peut hardiment nier le fait tel qu'ils le ſuppoſent, juſqu'à ce qu'il ait été mieux vérifié; car tout au moins faut-il que l'expérience ſoit inconteſtable pour faire preuve contre des principes évidens, ou pour en fonder l'exception.

Cependant M. l'Abbé Nollet n'en demeura pas là, il chercha la cauſe de cette différence que l'on remarque entre les glaçons des rivières & ceux des étangs & des eaux dormantes.

Pendant la gelée de 1743, & lorſque le thermomètre de M. de Reaumur étoit beaucoup plus bas que le terme de la congélation, il fit ouvrir de la glace épaiſſe de

plusieurs pouces sur la rivière de Seine, & en des endroits où l'eau avoit 9 à 10 pieds de profondeur. La pièce de glace enlevée, il vit contre son attente que le duvet attaché à la partie du dessous ressembloit très-souvent à celui qu'il avoit observé plus près du rivage, il y remarqua les mêmes saletés, & il s'aperçut aussi que la surface de l'eau en étoit couverte, quelque soin qu'on prît de les en ôter.

Le duvet de cette poussière de glace, mêlé de petits corps étrangers qui s'y attachent, monteroit-il ainsi du fond vers la superficie, & seroit-ce par cette voie qu'il s'accumuleroit à la partie inférieure des glaçons ? Pour s'en éclaicir, M. l'Abbé Nollet fit venir un tonneau dont on ôta les deux fonds, il fit faire dans la glace un trou de même diamètre, & il y plongea perpendiculairement le tonneau jusqu'aux trois quarts de sa longueur. Il forma de cette manière une espèce de puits d'où l'on enleva bientôt & les petits grumeaux de glace, & les saletés qui flottoient sur l'eau renfermée dans ce puits ; après quoi il n'y en vit plus, & il demeura convaincu que cette poussière, ces débris, &, pour ainsi dire, ces gravois de glace avec toutes les matières étrangères qui s'y mêlent, obéissent au courant, ne se fixent point aux endroits où la gelée les a fait naître, & ne viennent point du dessous de l'eau.

D'où viennent-ils donc, ou plûtôt quelle eſt la cauſe de leur formation ! Il n'eſt pas mal-aiſé de l'imaginer. Une infinité de petits glaçons formés ſur toute la ſuperficie de l'eau, & principalement vers ſes bords, ſont entraînés, choqués, briſés, atténués & arrondis par d'autres glaçons & par le courant même, avant qu'ils aient eu le temps de groſſir & de s'unir. Pouſſés contre la ſurface inférieure des grandes pièces de glace, ou quelquefois jetés au deſſus par les vagues ; les uns s'y attachent plûtôt ou plus tard, ſelon que mille cas fortuits les y déterminent, les autres continuent de rouler avec le courant. Enfin chargés de toutes les particules de matière étrangère qu'ils portent avec eux, ou qu'ils rencontrent ſur leur chemin, de terre, de vaſe, d'écume, de paille, de brins d'herbe, ils forment au deſſous, aux côtés, & quelquefois au deſſus des gros glaçons, tantôt cette eſpèce de duvet rare & ſpongieux qu'on y obſerve, tantôt cette ſuperficie âpre & grumeleuſe qui n'y eſt pas moins ordinaire, & où l'on croiroit voir l'empreinte d'un terrein ſur lequel ils auroient pris naiſſance : & il ne faut pas douter que parmi ces glaçons il ne s'en trouve pluſieurs où cette apparence d'empreinte n'eſt pas trompeuſe, & qui retiennent même des fragmens de la rive dont ils ſe ſont détachés, ainſi que nous l'avons déjà fait

entendre ; mais il ſuffit que pour la formation des uns ni des autres nous n'ayons nullement beſoin de recourir à la prétendue congélation du fond de l'eau.

Enfin pour ne laiſſer aucun ſujet de doute ſur la froideur du fond de l'eau, par rapport à celle du deſſus, en un temps de gelée, nous allons en rapporter la preuve de fait que M. l'Abbé Nollet nous fournit encore.

Il a plongé pluſieurs fois & en différentes années des thermomètres au fond de la rivière, ſoit au commencement de la gelée, ſoit lorſque la glace de la ſuperficie avoit 2, 3, 6, & juſqu'à 8 pouces d'épaiſſeur, & il n'a jamais trouvé l'eau de ce fond au degré de froid néceſſaire pour la convertir en glace. Il eſt vrai qu'elle en a ſouvent approché, mais ce n'a été qu'après pluſieurs jours de forte gelée, & nullement lorſque la glace de la ſuperficie n'avoit que trois quarts de pouce d'épaiſſeur, &, comme on peut juger, encore moins lorſqu'elle n'étoit que d'un tiers de pouce, qui eſt le cas où M. Hales ſuppoſe qu'il s'en eſt formé une de demi-pouce ſur le fond même.

Après tant de raiſons & d'expériences qui s'éclairent mutuellement, nous n'héſiterons point à conclurre que la congélation des rivières ne ſort pas de la loi générale, qu'elle commence à leurs bords & à leur ſuperficie, & non pas à leur fond.

Je remarquerai en finiſſant ſur la congélation des rivières, que la rivière de Seine qu'on voit aſſez fréquemment geler d'un bord à l'autre dans des hivers moins rudes que celui de 1709, ne gela pourtant pas entièrement cette année-là; le milieu de ſon courant demeura toûjours libre, du moins à Paris *. La raiſon la plus vrai-ſemblable qu'on en donna dans l'Académie des Sciences, fut que les rivières, en général, commencent toûjours à ſe geler par leurs bords, que les grandes, les fleuves, ne ſe gèlent guère juſqu'au milieu de leur courant que par les glaçons qui y ſont amenés de leurs bords, ou qui y tombent des petites rivières, & qu'aucune de ces circonſtances ne pût avoir lieu en 1709, parce que le froid y fut ſi ſubit & ſi âpre dès ſon premier commencement, que les petites rivières qui tombent dans la Seine au deſſus de Paris ſe trouvèrent priſes tout-à-coup & entièrement, de ſorte que leurs glaçons ne pûrent y être portés, du moins en aſſez grande quantité, & que les bords de la Seine n'en fournirent pas non plus, par la grandeur & par l'épaiſſeur des glaçons qui s'y étoient d'abord formés & fortement attachés. La violence même du froid fut cauſe que la Seine ne gela point entièrement.

* Hiſt. Acad. 1709, *p.* 9.

CHAPITRE III.

De l'eau qui ne ſe gèle pas étant expoſée à la gelée, quoiqu'elle y ait acquis pluſieurs degrés de froideur au delà de celui de la congélation ordinaire.

OBSERVATIONS ET EXPÉRIENCES.

M. Fahrenheit, célèbre par ſes thermomètres, & Membre de la Société Royale de Londres, eſt le premier, que je ſache, qui ſe ſoit aperçu de ce phénomène, en voulant faire une autre expérience. Il en donna avis à la Société Royale, & ſon Mémoire ſur ce ſujet fut inſéré dans les Tranſactions philoſophiques, année 1724, n.° 382.

Il avoit pris une boule creuſe de verre d'environ un pouce de diamètre, & qui tenoit à une queue ou à un petit tube de deux ou trois pouces de longueur, avec lequel elle communiquoit, & qui ſe terminoit en pointe. Il avoit fait chauffer cette boule à diverſes repriſes, & l'avoit remplie environ à moitié d'eau de pluie, à la manière dont on remplit les éolipyles, en trempant alternativement le tube dans l'eau, & en faiſant réchauffer la boule; après quoi la remettant ſur le feu juſqu'à l'ébullition de l'eau, il en avoit chaſſé l'air contenu dans

l'autre moitié, opération connue dans la Phyſique expérimentale, & il avoit ſoudé ſur le champ la pointe du tube à la lampe des Emailleurs.

Il expoſa ainſi cette boule & cette eau à la rigueur du froid le 2 Mars 1721, la température de l'air étant alors au 15me degré de ſon thermomètre, ce qui répond à peu près au milieu du 11me degré de celui de M. de Reaumur, au deſſous du point de la congélation; comme je le déduis de la conſtruction que M. Fahrenheit donne là même de ſon thermomètre, & d'une Table de comparaiſon de divers thermomètres *, dreſſée avec ſoin par feu M. Martine, de la Société Royale de Londres & de celle d'Edimbourg.

Une heure après, M. Fahrenheit ayant regardé à cette boule, fut très-ſurpris d'y trouver l'eau auſſi liquide qu'auparavant; elle l'étoit encore le lendemain matin, quoique le froid fût encore au même degré. Il crut alors devoir attribuer cet effet à l'ab-

* C'eſt la plus exacte que je connoiſſe, je l'ai vérifiée avec les thermomètres de Mrs de Reaumur, Amontons, Haukſbée & Fahrenheit même, ſur leſquels j'ai vû d'autres Tables qui ſont très-fautives. C'eſt pourquoi je m'en rapporterai à celle-ci dans la ſuite pour toutes ces réductions. Elle eſt dans l'*An Eſſay towards comparing different thermometers* de cet Auteur, imprimé à Londres en 1721, parmi ſes autres Eſſais de Médecine & de Philoſophie.

ſence de l'air ; il caſſa la pointe du tube pour ouvrir l'entrée à l'air, & en effet toute la maſſe de l'eau fut ſubitement parſemée de petites lames de glace.

Mais ayant répété l'expérience bien des fois & de bien des manières, il ſe convainquit enfin de l'erreur où il étoit, & il ne douta plus que la ſeule agitation de l'eau ainſi refroidie ne pût en avoir produit la congélation ; comme le haſard l'en fit apercevoir, & comme l'expérience répétée à ce deſſein le lui confirma *, toûjours avec de ſemblables boules de verre à moitié remplies d'eau.

Ces lames de glace formées ſubitement reſtoient quelque temps mêlées d'une eau fluide qui en rempliſſoit les intervalles, & il réſultoit, dit-il, de leur aſſemblage, *comme une cryſtalliſation confuſe de certains ſels.*

N'oublions pas auſſi deux obſervations importantes qu'il fit en même temps.

L'une, que ces petites lames de glace ſurnageoient toûjours dans l'eau où elles étoient plongées.

L'autre, qu'ayant mis la boule d'un de

* *Hoc autem caſu fortuito edocebar, glaciem in aquam ſatis frigida agitatione produci poſſe, ſimulque judicii errorem agnoſcebam, quòd nempè abſentiæ aëris fluiditatem aquæ attribuiſſem.* Ce cas fortuit ou cet accident n'eſt autre choſe qu'un faux pas qu'il fit en tranſportant une de ces boules d'un lieu à un autre, & ſur le champ toute l'eau en fut glacée, ou remplie de lames de glace.

ſes thermomètres dans ce mélange de glace & d'eau, la liqueur ou le mercure du thermomètre remonta juſqu'au 32me degré, c'eſt-à-dire, à la ſimple congélation ou zéro du thermomètre de M. de Reaumur.

On trouve encore dans les Tranſactions philoſophiques * une lettre de M. Triewald, Directeur des Méchaniques du Roi de Suède, à M. Sloane, écrite de Stokholm le 4 Avril 1730, dont il réſulte;

Que le 15 Décembre 1729 étant dans une ſalle qui lui ſervoit de laboratoire, il prit de deſſus une tablette une de ces longues bouteilles remplies d'eau, & recouvertes d'une veſſie pleine d'air, dans leſquelles on fait monter & deſcendre alternativement de petites figures de verre, pour donner une idée de la preſſion de l'air ſur la ſurface de l'eau:

Que malgré le grand froid qu'il faiſoit, il trouva l'eau de cette bouteille parfaitement liquide;

Mais qu'ayant appuyé la main ſur la veſſie qui en recouvroit l'orifice, cette eau ſe convertit en glace dans le moment & dans l'eſpace d'une ſeconde.

M. Muſſchenbroek a fait auſſi quelques expériences ſur ce ſujet avec des carafes remplies d'eau, bien bouchées, & qu'il expoſoit pendant la nuit à la gelée. Il retrouvoit le

* Num. 418.

lendemain l'eau toute liquide ; mais dès qu'il débouchoit la carafe, & qu'un nouvel air venoit à frapper la ſurface de l'eau, il s'y formoit ſur le champ une infinité de petites lames de glace *(a)* ; comme nous avons vû que l'avoit remarqué M. Fahrenheit.

Enfin j'apprends par M. Jallabert, Profeſſeur de Phyſique expérimentale & de Mathématiques à Genève, que M. Micheli *(b)* lui mandoit il y a quelques années, que *ſi l'on met le thermomètre dans un cylindre de verre d'environ 1 pouce de diamètre, & de 7 à 8 pouces de longueur, qu'on a rempli d'eau & couvert d'un carton, & que l'on expoſe ce vaſe avec le thermomètre à un air parfaitement tranquille, de 11, 12, 13, 14 & même 15 degrés de froid* (du thermomètre de M. Micheli) *cette eau contractera à la longue ce même degré de froid ſans geler, & le thermomètre deſcendra dans cette eau juſqu'à pareil terme. Pour lors touchez ſeulement la ſurface de cette eau avec un fil d'archal que vous aurez frotté de neige ou de glace, & vous verrez ſe former pluſieurs petits fuſeaux de glace, & le thermomètre remonter à vûe juſqu'au 10 $\frac{3}{4}$*, c'eſt-à-dire, à peu près juſqu'au terme de la ſimple

(a) Atque intra minutum tota aqua lamellis glacici implebatur. *Additament. ad tentam. exper. Acad.* Del cimento.

(b) cité ci-deſſus, p. 62.

congélation, comme il a été remarqué dans les expériences de M. Fahrenheit; car la graduation du thermomètre de M. Micheli commence à la température des caves de l'Obſervatoire, & ainſi ſes 10, 11, 12, 13, 14 & 15 degrés en deſcendant, répondent, à peu près, aux 0, 1, 2, 3, 4 & 5 du thermomètre de M. de Reaumur, auſſi en deſcendant.

M. Jallabert avoit commencé de répéter cette expérience, & d'une manière qui lui eſt propre, dans le mois de Novembre dernier; mais la douceur du temps, qui ſuccéda bien-tôt à la gelée du 21 & du 22 de ce mois, l'empêcha de pourſuivre. Il en fit aſſez cependant pour ſe convaincre que de l'eau ainſi expoſée à un air tranquille, ſe refroidit bien au delà de la congelation ſans ſe geler.

CHAPITRE IV.

Suite d'obſervations & d'expériences ſur le même ſujet.

J'AUROIS pû me diſpenſer de mettre la main à l'œuvre après les Obſervateurs dont je viens de rapporter les expériences; mais ce phénomène m'a paru trop important pour ne pas tâcher de le connoître par moi-même, & de le conſidérer par

tous les côtés, & de tous les points de vûe qui m'ont paru les plus propres à en dévoiler la cauſe.

Le 11 Janvier dernier, je mis entre deux chaſſis ſur une fenêtre du Louvre, qui donne ſur la cour, & qui eſt tournée vers l'eſt-ſud-eſt, tenant au cabinet où je travaille, auprès d'une encoignure où le Soleil d'hiver ne donne point;

Numéro 1. Un verre ordinaire à boire de figure conoïdale, & à peu près parabolique, avec de l'eau de la rivière de Seine, bien limpide, juſqu'à environ trois quarts de pouce de ſes bords, & j'achevai de le remplir, à une ou deux lignes près, en verſant par-deſſus cette eau de l'huile d'olive que j'avois fait un peu chauffer auparavant, pour la fondre & la rendre bien claire. Ce verre ainſi rempli & ſans être couvert, fut mis ſur un petit quarré de planche de ſapin, qui s'appliquoit bien juſte ſur la tablette de de la fenêtre.

Je choiſis cette figure de vaiſſeau, plûtôt que la cylindrique, afin que la gelée venant à arriver, la glace pût remonter, en gliſſant ſur les parois intérieures du verre, ſans le faire crever. Tous les verres ſuivans ſeront à peu près de la même figure, de la même grandeur que le premier, & chacun de la contenance d'un peu plus de 7 onces d'eau.

N.° 2. Un verre avec même quantité

d'eau & d'huile à côté du premier, mais dans lequel je plongeai la boule d'un petit thermomètre suspendu au dessus, de manière que cette boule occupoit à peu près le centre du conoïde d'eau ; la partie supérieure du tube tenant à une monture où la graduation est marquée selon la théorie de M. de Reaumur.

N.° 3. Un verre que j'avois de même rempli d'eau seulement, jusqu'à environ $\frac{3}{4}$ de pouce des bords, & couvert d'un carreau de vitre, qui ne joignoit pas si bien que l'air extérieur ne pût y entrer & l'intérieur en sortir assez librement.

N.° 4. De même.

N.° 5. De même, mais sans le couvrir.

N.° 6. Avec la même quantité d'eau, & un demi-pouce d'huile de lin par-dessus : huile qui ne gèle presque jamais, & que je choisis ainsi par préférence, & en opposition à celle d'olive.

N.° 7. Et enfin un septième avec la même quantité d'eau, l'air au dessus & couvert d'un carreau de vitre que j'avois bien mastiqué sur ses bords avec de la cire ; de manière que l'air intérieur & extérieur ne pouvoient que difficilement communiquer l'un avec l'autre. Pour cela, j'avois étendu une couronne de cire de deux ou trois lignes d'épaisseur sur le carreau que j'avois fait chauffer ensuite jusqu'à la molleſſe de la

cire, & je l'avois appliqué sur les bords du verre, en le pressant un peu contre.

Tous ces vaisseaux ainsi disposés; & rangés dans cet ordre sur la tablette de la fenêtre, je suspendis intérieurement à la croisée de bois du chassis extérieur, & à la hauteur des vaisseaux, un thermomètre tout semblable à celui du n.° 2, & dont la marche est sensiblement la même *. La liqueur ou le mercure en étoit alors à 5 ou 6 degrés au dessus de la congélation. Après quoi je fermai le chassis intérieur, pour ne l'ouvrir que lorsque l'expérience ou les observations le requerroient.

1.ere *Observation.* Le temps ayant toûjours été depuis autour de cette température, avec de grands vents, des pluies fréquentes, & de grands baissemens du baromètre, jusqu'au 7 Février, le froid arriva rapidement vers les 9 à 10 heures du matin du même jour. A midi le thermomètre suspendu au chassis étoit descendu à 0 ou à la congélation, & le soir vers les neuf heures à 2

* Ces deux thermomètres sont à mercure; la boule n'en a qu'environ un demi-pouce de diamètre, & le tube n'a pas intérieurement un quart de ligne. Ils peuvent marquer depuis le 18.me degré de froid au delà de la congélation ou au dessous de 0, jusqu'à l'eau bouillante, ou 82 degrés de chaleur au dessus de 0. La monture en est brisée par une charnière à 2 pouces au dessus de la boule. C'est ainsi que le premier de ces thermomètres étoit plongé dans l'eau n.° 2.

degrés au dessous, le thermomètre du n.° 2 suivant à peu près la même marche, comme il fit presque toûjours dans la suite, à un demi-degre plus ou moins près. L'eau du n.° 5 n'étoit pas encore gelée.

2me Obs. A 11 heures du soir le thermomètre étant encore descendu d'un degré c'est-à-dire, à 3 au-dessous de 0, l'eau du n.° 5 étoit gelée à sa superficie & un peu auprès des parois du verre.

3me Obs. Le 8 à 7 heures du matin, le thermomètre étant à 4 degrés au dessous de 0, l'eau du n.° 5 étoit tout-à-fait prise, & d'une glace transparente. Aucun de tous les autres vaisseaux, si l'on en excepte l'huile d'olive, qui étoit figée depuis plusieurs jours, ne montra la moindre apparence de glace, & il n'y avoit encore rien de glacé dans tous ces vaisseaux à une heure après midi. Mais étant revenu chez moi vers les huit heures & demie du soir, j'aperçus plusieurs lames de glace dans l'eau du n.° 7, qui étoit couvert du carreau mastiqué, tandis que celle des n.ºs 3 & 4, où l'air pouvoit aisément communiquer entre le carreau & les bords du verre, étoit dans une parfaite liquidité *.

* Ces expressions, *dans une*, ou *dans sa parfaite liquidité*, *dans toute sa liquidité*, & semblables, ne doivent pas être prises ici exclusivement, comme si l'eau n'étoit pas susceptible d'une plus grande liquidité ou

4me Obſ. J'aperçus auſſi avec la même ſurpriſe, que l'eau du n.° 6, qui étoit couverte de l'huile de lin, commençoit à ſe parſemer de pareilles lames de glace; car c'étoit à ces deux vaiſſeaux (n.ºs 6 & 7,) que j'avois cru que la congélation devoit arriver le plus tard. Vers les 11 heures du ſoir ces lames en avoient rendu toute l'eau auſſi opaque que l'avoit été auparavant celle du n.° 7, laquelle en achevant de ſe geler avoit acquis la tranſparence ordinaire de la glace. Le thermomètre de la croiſée étoit alors à $4\frac{1}{2}$ degrés au deſſous du point de la congélation, & celui du n.° 2 ſuivoit toûjours à peu près la même marche.

5me Obſ. Le 9 à 7 heures du matin, le thermomètre de la croiſée étoit à environ $4\frac{3}{4}$, celui du n.° 2 à 5, & tout le reſte comme ci-deſſus, excepté que les glaces formées de la veille étoient devenues plus tranſparentes, dans l'ordre de leur formation, & que j'y remarquai quelques bulles dont elles m'avoient paru tout-à-fait exemptes: l'eau des n.ºs 1, 2, 3 & 4, ſe ſoûtenant

fluidité que celle qu'elle a en cet état. Car en rigueur la fluidité des liquides, ou d'un même liquide dans ſes différens états, doit être, toutes choſes d'ailleurs égales, en raiſon inverſe des denſités ou des peſanteurs ſpécifiques actuelles. Or l'eau froide eſt plus denſe & plus peſante que l'eau chaude; donc, &c. ce que les expériences juſtifient. *Hiſt. Acad. 1741, p. 14 & 17.*

parfaitement

parfaitement dans ſa liquidité. D'autres thermomètres que ceux de l'expérience, & qui étoient expoſés au grand air, étoient deſcendus dans cette même matinée ou pendant la nuit, juſqu'à près de 7 degrés.

Cependant le mercure qui étoit en deſcente dans le baromètre, & quelques autres ſignes, me faiſant craindre, non ſans fondement, que le temps ne vint à s'adoucir, je ne voulus point différer à tirer parti de ces quatre vaiſſeaux exempts de glace, pour en faire les épreuves ſuivantes.

6me Obſ. J'ouvris donc le chaſſis intérieur vers les 8 à 9 heures du matin. J'appuyai les doigts d'une main ſur la patte du verre n.° 1, en la preſſant contre la planche, & de l'autre je frappai aſſez rudement & à coups redoublés avec une clef ſur cette planche. Au 12 ou 15me coup je vis toute l'eau de ce verre au deſſous de l'huile, & juſqu'au fond ſe parſemer de lames de glace diverſement inclinées, & devenir opaque; ce qui alla en augmentant pendant quelques minutes, tout le reſte de l'eau entre ces lames me paroiſſant encore liquide Mais ayant enlevé l'huile figée qui étoit au deſſus, avec une cuillier à café d'argent, toute l'eau ſe prit, à la réſerve de quelques gouttes qui reſtoient liquides, & qui coulèrent du bloc de glace hériſſé de pointes: elles ſe gelèrent auſſi dans l'inſtant, & 15

ou 20 minutes après, le bloc de glace étoit parfaitement solide, tant intérieurement qu'extérieurement, comme il étoit aisé de voir par sa transparence.

7me Obs. A l'égard du n.° 2, chargé aussi d'huile d'olive, & ayant de plus un thermomètre dont la boule plongeoit jusqu'au milieu de l'eau, je craignis qu'en frappant sur le carré de planche qui le soûtenoit, & que l'eau venant à geler, le tube grêle & fragile du thermomètre ne cassât. C'est pourquoi, & pour varier l'expérience, je me contentai de le soûlever doucement & verticalement pour diviser l'eau, & pour faire un trou à l'huile figée qui étoit au dessus. La boule n'étoit pas encore hors de cette huile, que je vis les petites lames de glace se former dans l'eau, & la rendre opaque, ainsi qu'il étoit arrivé au n.° 1. J'y replongeai sur le champ ce thermomètre, & je vis sensiblement monter le mercure dans le tube à mesure que la glace achevoit de se former. Il étoit remonté de 3 degrés, & il se trouvoit par conséquent à 2 degrés au dessous du point de la congélation lorsque je jugeai à propos de le retirer, 1° pour ne pas risquer de le faire casser dans la glace, 2° parce que l'expérience de Mrs Fahrenheit & Micheli me parut suffisamment confirmée par-là.

8me Obs. J'en vins au verre du n.° 3. Je

ne fis que l'agiter, en le tenant à la main & en frappant du coude contre la fenêtre; les lames de glace s'y formèrent sur le champ, toute la partie du verre qui contenoit l'eau devint opaque, &c. comme dans les précédens.

9me Obs. J'arrachai cette glace du verre, en cet état, c'est-à-dire, lorsqu'elle ne faisoit encore qu'un grumeau de glaçons tout hérissé de pointes, je le plongeai dans une cuvette pleine d'eau, que j'avois mise à côté de moi tout exprès, & il y surnagea: épreuve dont j'étois d'autant plus curieux, que dans les expériences de M. Fahrenheit elle n'avoit été faite qu'avec de la glace formée dans le vuide, & que je ne savois pas s'il avoit eu la précaution d'en détacher les lames des parois intérieures du verre, où il n'étoit pas impossible qu'elles ne fussent un peu adhérantes.

10me Obs. Restoit le n.° 4. J'en ôtai doucement le carreau de vitre qui le couvroit, & j'en touchai la superficie de l'eau avec la pointe d'un tronçon de glace ordinaire. La promptitude avec laquelle les petites lames s'y formèrent & rendirent toute la masse de l'eau opaque, depuis le point du contact jusqu'au fond du verre & tout autour, ne peut être mieux comparée qu'à celle de la poudre à canon qui prend feu.

11me Obs. Toutes ces glaces, comme je l'ai déjà dit, devenoient de plus en plus

ſolides & tranſparentes, l'eau qui ſe trouvoit d'abord mêlée entre les petites lames par où elle commençoit à ſe former, ſe glaçant avec elles & ne faiſant plus qu'un tiſſu ſenſiblement uniforme. Les bulles d'air y naiſſoient quelques heures après, & ſe trouvoient le lendemain plus groſſes & plus nombreuſes.

12me Obſ. Pluſieurs de ces bulles dans les verres des jours précédens, & d'où je n'avois point ôté la glace, avoient pris la forme de larmes, dont la tête étoit tournée à peu près vers l'axe du conoïde ou du vaſe, & la queue vers ſes parois.

CHAPITRE V.

Réflexions ſur les obſervations & les expériences précédentes.

ON voit d'abord bien certainement que l'eau peut être de bien des degrés plus froide au delà de celui qui produit la congélation ordinaire, ſans ſe geler.

Que la cauſe la plus vrai-ſemblable & la plus prochaine de cet effet, eſt le *repos de maſſe* de l'eau, c'eſt-à-dire, le repos ſenſible, ou des parties ſenſibles qui la compoſent, lequel il faut bien diſtinguer du repos de ſes parties intégrantes.

Qu'un ſemblable repos de maſſe de l'air qui touche à la ſurface de l'eau, ou le ſéjour

du même air avec lequel elle se trouve exposée à la gelée, produit à peu près le même effet, ou y contribue.

Et enfin que ces deux causes semblent quelquefois agir l'une sans l'autre, & quelquefois l'une avec l'autre.

Car voilà en général ce qu'on peut recueillir de toutes les observations & de toutes les expériences des deux chapitres précédens.

La première de ces deux causes nous est indiquée par son contraire, le mouvement & l'agitation du liquide, qui le font convertir en glace presque en un instant.

La seconde par le changement d'air, par l'introduction d'un nouvel air, qui produit aussi cet effet; soit que cet air prenne la place de celui qui séjournoit sur le liquide, soit par l'introduction subite d'un air quelconque à la place du vuide parfait ou imparfait sous lequel l'eau étoit auparavant; comme on l'a vû dans les expériences de M. Fahrenheit.

Mais il y a cette différence entre ces deux causes de la prompte congélation d'une eau très-froide, que la première agit indépendamment de la seconde, & que celle-ci, dans la supposition qu'elle agit aussi par elle-même, ne peut pourtant avoir lieu sans que l'autre ne s'y mêle; puisqu'un nouvel air ne sauroit être introduit sur le liquide, ou à la place du vuide, sans causer quelque

agitation, quelque légère ondulation dans le liquide. Et c'eſt encore le cas d'un même air pouſſé ou comprimé contre la ſurface de l'eau, comme dans l'obſervation de M. Triewald.

Or on ne peut pas dire réciproquement qu'il ne ſe fait point d'agitation ſans introduction d'un nouvel air, puiſque dans les dernières expériences de M. Fahrenheit, dans quelques-unes des nôtres, & ſur-tout dans celle du n.° 1, *Obſ. 6*, il n'y a certainement point de nouvel air introduit.

Le contact d'un corps étranger, d'un fil d'archal frotté de neige ou de glace, ou de la glace même, avec le liquide, produit encore le même effet que l'agitation & le nouvel air, & ſe trouve auſſi compliqué avec les deux.

Je ne doute pas cependant qu'abſtraction faite de tout le reſte, l'application d'un nouvel air à la ſurface de l'eau, le contact d'un corps étranger quelconque, & ſur-tout d'un morceau de glace, ne puiſſent, dans le cas poſé, y produire ſubitement la congélation.

Mais avant que d'entrer là-deſſus dans un plus grand détail, voyons comment le repos de maſſe peut conſerver à l'eau ſa liquidité, malgré le degré de froideur acquiſe, & bien au delà de celui qui la lui ôte ordinairement.

Nous avons remarqué dans le premier Chapitre de la première Section *, que la matière ſubtile devoit ſe mouvoir avec plus de liberté, conſerver ou acquerir plus d'activité & de reſſort dans la glace, que dans l'eau dont cette glace venoit de ſe former, & nous en avons donné la raiſon. C'eſt que la matière ſubtile ne trouve plus les mêmes obſtacles à vaincre dans des canaux devenus ſolides; rien ne s'y met plus à la traverſe, toutes les parties intégrantes de l'eau y ſont fixes & immobiles, il ne s'y fait plus d'interruptions, ils ne varient plus, l'équilibre, la correſpondance de mouvement & de reſſort decette matière avec celle du dehors, n'y ſont plus troublés, comme ils l'étoient ſans ceſſe pendant la liquidité.

Or un long repos de maſſe, & ſelon qu'il eſt plus parfait, dans les parties du liquide, y doit produire quelque choſe d'équivalent. Il doit y faire naître, toutes proportions gardées, cette eſpèce d'équilibre & de mouvemens réglés & périodiques entre les parties intégrantes de l'eau, la

* Pages 105 & 106, où il ſemble que j'aie voulu préparer l'explication que je donne aujourd'hui de ce phénomène; tant il eſt analogue à mes principes! Mais on trouvera la même théorie, & en mêmes termes, dans les deux premières éditions, c'eſt-à dire, en un temps où ce phénomène étoit inconnu, & dans la troiſième, où je l'ignorois encore. *Voy. édit. de Bourdeaux, p. 50; de Béziers, p. 72; & de Paris, p. 584.*

matière ſubtile intérieure, & celle du dehors. Tout s'y meut encore, il eſt vrai, mais tout s'y meut dans le même ordre, dans des routes plus frayées, plus longues même, & moins tortueuſes, & ſur-tout plus conſtantes : car tout fluide actif qui coule dans des canaux tortueux & flexibles, doit tendre ſans ceſſe à les alonger & à les redreſſer. Le refroidiſſement de la gelée, quelque prompte qu'elle ſoit, n'arrive que par degrés inſenſibles à chaque inſtant, & le reſſerrement qu'elle produit ſur ces canaux ne s'y fait auſſi que par degrés inſenſibles, ſans y détruire la continuité que l'équilibre & la correſpondance de mouvemens entre les parties intégrantes du liquide & la matière ſubtile intérieure y entretenoient. Ainſi la maſſe totale & immobile du liquide qui aura pû acquerir cet état, réſiſtera à une gelée plus forte de pluſieurs degrés, que n'en exige communément la ſimple congélation, ſans perdre ſa liquidité. Toûjours environné des mêmes matières ou du même air, il eſt à cet égard dans le cas du feu caché ſous la cendre.

Mais vient-on à rompre cet équilibre, cet accord de mouvemens réciproques, par la deſtruction, par l'accourciſſement, par la flexion, & par la ſubdiviſion continuelle des canaux où le fluide éthéré couloit auparavant dans le liquide ? Tout y va ſubir

le trouble que nous avons décrit, en expliquant la formation de la glace dans ſes commencemens, l'agitation inteſtine, une eſpèce de fermentation, le dévéloppement du reſſort de l'air, le redreſſement des parties de l'eau qui en auront eu le temps ou la liberté, & tout de ſuite l'engourdiſſement, & enfin la congélation; d'abord ſur les endroits du liquide où l'uniformité de mouvemens étoit moins parfaite, par des filets ou de petites lames, & bien-tôt par ſa converſion totale en un bloc ſolide de glace. C'eſt-là, à mon avis, ce que produit l'agitation des parties ſenſibles du liquide, lorſqu'elle ſuccède à ſon repos de maſſe pendant la gelée, & avec d'autant plus de rapidité que cette gelée étoit plus forte.

C'eſt le même méchaniſme par rapport à l'introduction d'un nouvel air ſur le liquide; mais outre le mouvement de maſſe qu'il y occaſionne, ſes effets tiennent encore à une autre circonſtance. Nous avons remarqué à l'occaſion d'un autre phénomène *, que la matière ſubtile ou éthérée qui pénètre différentes ſubſtances, s'y meut différemment, & facilite, entretient, ou empêche leurs adhéſions, leurs attractions, ou leurs répulſions réciproques, à raiſon de ſon cours homogène ou hétérogène: à peu près comme la matière quelconque qu'on nomme

* *Ci-deſſus*, p. 110, *édit. de Bourd.* p 54.

magnétique, fait que deux pierres d'aimant s'uniſſent ou ſe repouſſent, ſelon qu'elles ſont préſentées par l'un ou l'autre de leurs poles. Ainſi une eau tranquille dont la matière éthérée intérieure a eu le temps de s'unir par des mouvemens ſemblables, ou de ſe mettre en équilibre par des mouvemens contraires, avec celle de l'air ambiant qui touche à ſa ſurface & qui eſt toûjours le même, doit ſe maintenir plus long-temps dans ſon état de liquidité, que celle où un nouvel air vient frapper & interrompre l'ordre de ces mouvemens.

Un ſemblable effet ſera encore plus ſenſible dans le cas du n.° 4, *Obſ. 10*, où l'on touche la ſurface de l'eau avec un morceau de glace. Car, comme nous l'avons obſervé, la matière ſubtile ſe meut avec plus de liberté dans la glace que dans l'eau, & ſur-tout que dans l'eau déjà reſſerrée par un grand froid; & de plus, tout fluide qui ſe meut dans des canaux étroits, dans un liquide ou dans un ſolide quelconques, doit s'en échapper par le côté où il trouve plus de liberté & moins de réſiſtance. Donc la matière ſubtile ou éthérée qui étoit renfermée dans cette eau, doit paſſer à l'inſtant dans la glace dont on la touche; c'eſt une iſſue qu'on lui préſente, une eſpèce de pompe qu'on y applique. Or en abandonnant cette eau, déjà plus froide qu'elle n'avoit beſoin

de l'être pour la congélation ordinaire, & que cette matière entretenoit pourtant dans son état de liquidité, en vertu du repos de masse & de l'équilibre acquis avec la matière subtile extérieure, il faut nécessairement que cet équilibre soit rompu, & que la congélation s'en ensuive; & tout cela avec d'autant plus de rapidité que la froideur étoit plus grande, & abstraction faite de la solution de continuité qui s'y complique.

Nous ne sommes peut-être pas à portée dans ce climat de déterminer jusqu'à quel degré de froideur l'eau peut conserver ainsi sa liquidité. C'est une expérience à faire dans des pays plus près du Pole. On l'a vûe liquide ci-dessus au 5me degré de plus que la simple congélation, & il suit des expériences de M. Fahrenheit, qu'elle le peut être encore au 11me, c'est-à-dire, au degré de nos plus fortes gelées & que nous passons rarement dans le climat de Paris.

Le repos acquis dans l'eau du n.° 5, *Obs. 1*, quoiqu'à découvert, & à 2 degrés de froid, en a empêché la congélation pendant plusieurs heures de gelée.

L'huile de lin au dessus de l'eau, n.° 6, *Obs. 4*, en a favorisé la liquidité pendant un plus long intervalle, & un plus grand froid, parce qu'elle en a mieux défendu la surface contre les accidens tels que de petites agitations de l'air, malgré la clôture des deux

chaſſis, & des grains de ſable ou de pouſſière qui pouvoient y tomber du haut de la fenêtre; mais cette eau a enfin gelé, tandis que celle qui étoit couverte d'huile d'olive a perſévéré dans ſa parfaite liquidité avec un froid plus rude.

En général la nature des matières ambiantes à l'égard de l'eau miſe en expérience, me paroît ne devoir pas être négligée ici, & je mets au nombre de mes omiſſions, de n'y avoir pas employé, outre les ſept vaiſſeaux de verre, du bois, de la pierre, du métal, de la cire, de la réſine, &c. & même de n'avoir pas préſenté à l'eau dans ſon extrême refroidiſſement, & ſans la toucher, une bonne pierre d'aimant & le tube électrique. Je devois cependant commencer par le verre, pour voir ce qui ſe paſſoit dedans, & auſſi par ſon affinité avec l'eau *.

Il faudroit auſſi s'éclaircir ſur deux autres faits que je ne ſuis plus à temps de vérifier, ſavoir,

1° Si une matière quelconque avec laquelle on rompra le tiſſu de l'eau à ſa ſuperficie, ſelon que cette matière ſera plus ou moins analogue au verre, à la glace ou à l'eau, ne produiroit point la congélation ſubite. La condition que M. Micheli met au fil d'archal dont il la touche, qu'il ſoit frotté de glace ou de neige, ſemble ſuppoſer qu'il en ait fait

* Page 109. *Sup.*

l'épreuve ſans cette préparation : mais je ſuis fort trompé ſi lorſque l'eau aura atteint à peu près le dernier degré de froideur dont elle eſt ſuſceptible ſans ſe geler, tout corps qui la diviſera ou l'agitera le moins du monde ne fera pas quelque choſe de ſemblable, quoique peut-être moins promptement.

2° Ce qui en arriveroit de l'épreuve ſuivante. Soit pris un vaiſſeau cylindrique de verre, par exemple, de 4 à 5 pouces de diamètre & d'autant de hauteur, qui ait à ſon milieu ou autour de ſon axe un autre vaiſſeau cylindrique de même matière, de même hauteur, & d'un pouce de diamètre, fixement attaché ou ſoudé à ſon fond. Soit la capacité du grand cylindre, entre ſes bords & ceux du petit cylindre, remplie d'eau juſqu'à environ trois quarts de pouce de ſes bords, & cette eau couverte d'un demi-pouce d'huile d'olive, comme il a été pratiqué ci-deſſus n.° 1 dans le verre, le petit cylindre du milieu demeurant vuide; & ſoit enfin le tout expoſé à la gelée prochaine, avec les précautions & dans des circonſtances à peu près ſemblables à celles qui ſont énoncées avant ce n.° & dans ce n°. Si, conformément aux obſervations précédentes, cette eau parvient à 3, 4 ou 5 degrés, &c. de froideur au delà du terme de la congélation, ſans ſe geler, & qu'on verſe dans le petit cylindre intérieur, & juſqu'à la ſurface

de l'eau du grand cylindre, de l'eau moins froide que la glace, celle-ci ne devra-t-elle pas s'y geler ! n'eſt-ce pas le cas de la congélation artificielle par le mélange de ſel & de glace autour d'une bouteille ! Que ſi l'eau glacée dans le petit cylindre communique enſuite ſon état à celle du grand par l'affinité ou l'homogénéïté de mouvemens de la matière éthérée dans la glace, dans le verre & dans l'eau, dont nous avons déjà parlé pluſieurs fois, ne ſera-ce pas encore un phénomène très-curieux à obſerver !

Quant au mauvais ſuccès du n.° 7, *Obſ. 3*, je conjecture qu'il vient de ce qu'ayant chauffé le carreau de vitre qui en couvroit le vaiſſeau pour le faire joindre avec les bords du verre par le moyen de la cire, l'air du deſſous y a été d'abord conſidérablement raréfié, & y a laiſſé une eſpèce de vuide juſqu'à la gelée, qui, augmentant de plus en plus l'effort de l'air extérieur pour y entrer, lui aura donné lieu de s'y faire jour par quelqu'endroit foible de la cire, ou par l'endroit qui joignoit le moins bien; d'où ſera ſurvenue une irruption d'air, comme dans les expériences de M. Fahrenheit, lorſqu'il caſſoit la queue de ſon petit ballon de verre.

Les petites lames de glace qui ſe forment ſubitement depuis la ſuperficie de l'eau juſqu'au fond, confirment ce que nous avons obſervé, que la congélation commence par

des filets, par de petites lames comme de canif (*a*), & que les parties de l'eau qui se glacent, tendent à s'assembler sur un plan (*b*). Et ce que nous avons ajoûté, que la congélation commence toûjours par les bords & par la surface de l'eau, n'est nullement détruit par cette congélation subite, qui parcourt toute la masse du liquide depuis sa superficie jusqu'au fond du vaisseau, & toutes ses parois intérieures, selon que l'agitation ou l'équilibre rompu commence par quelqu'une de ces parties. Car il est clair que dans le cas de la congélation ordinaire, l'eau n'étant pas encore au degré de froideur de la congélation avant que de se geler, sa congélation doit commencer par les premières de ses parties qui ont acquis ce degré de froideur, c'est-à-dire, par ses bords, par sa surface supérieure, ou par les parties quelconques que l'air extérieur de la gelée vient à frapper les premières, & passer de-là à toutes les autres, plus ou moins promptement, selon que la gelée est plus ou moins prompte & plus ou moins forte : ce qui ne doit pas avoir lieu à l'égard d'une eau qui se trouve déjà, depuis plusieurs heures ou plusieurs jours, uniformément plus froide dans toute sa masse, que ne l'exigeoit la congélation.

Enfin, pour ne pas grossir inutilement

(*a*) Page 108.
(*b*) Page 165.

ces remarques, il faut saisir ici, comme en toute autre rencontre, ce qu'il y a de plus général & de mieux constaté sur le phénomène en question, & bien distinguer entre toutes les expériences & les observations qui concourent à le décrire & à l'éclaircir, celles que le hasard seul a fournies, & où l'Observateur n'a souvent ni vû, ni songé à voir ce qu'il y avoit de plus essentiel, d'avec celles qui ont été faites avec dessein & prévoyance.

CHAPITRE VI.

Si l'eau peut quelquefois se geler dans tout un pays par un air moins froid que celui de la congélation ordinaire.

CE phénomène, que quelques Physiciens regardent comme certain, me paroît cependant susceptible de bien des doutes & des distinctions.

Il ne sauroit être l'inverse de celui que nous venons d'examiner, que dans des circonstances égales ou équivalentes, dans le cas où l'eau qui se gèle ne se geleroit pas, s'il ne lui survenoit quelque accident, quelque modification nouvelle, indépendamment de la température actuelle de l'air extérieur.

Puisque dans le phénomène précédent l'eau ne demeure liquide, quoiqu'exposée

à la gelée, qu'en vertu du mouvement & de l'équilibre entretenus dans la matière subtile intérieure qui fait sa liquidité, il faut ici au contraire que le mouvement de ce fluide, de ce feu élémentaire intérieur, se trouve ralenti, & son équilibre rompu avec la matière subtile extérieure, par quelque cause extraordinaire & accidentelle.

Car si cette eau différoit réellement par elle-même, dans ses principes ou dans sa contexture, de celle que nous voyons toûjours se geler au degré de froid indiqué sur nos thermomètres pour la congélation, comme il pourroit arriver en différens pays, & par quelque circonstance locale, ce seroient alors deux liquides différens, & il n'y auroit pas de quoi être surpris que l'un se glaçât à un air où l'autre conserveroit toute sa liquidité.

Il faut donc soigneusement distinguer, sur la question présente, la congélation accidentelle de l'eau dans le même pays & le même lieu où elle a coûtume de demeurer liquide par le même degré de froid, d'avec la congélation constante de l'eau dans un autre pays ou dans un autre lieu, par le même degré de froid où communément elle demeure liquide dans la plûpart des pays.

Examinons d'abord le premier de ces deux cas, celui où il survient quelque accident particulier à cette eau qui se gèle, quoique

la température de l'air ne ſoit pas à la congélation.

Je ne tiendrai point compte de pluſieurs petites irrégularités, qui ne roulent que ſur un degré de plus ou de moins de froid ou de chaud indiqué ſur le thermomètre. Car mille accidens, le lieu, l'expoſition à tel ou tel vent, ou à l'air calme, le mur, l'arbre ou le terrein, contre lequel l'inſtrument eſt appuyé, ou qu'il avoiſine, & qui a plus ou moins retenu de la température des jours précédens, la matière, l'endroit, la forme ou la grandeur du vaiſſeau où repoſe l'eau qu'on obſerve, & une infinité d'autres circonſtances, peuvent produire toutes ces irrégularités & de plus grandes, ſans qu'on ſoit toûjours en état de s'en appercevoir. Cependant je puis dire que je n'ai guère rien vû arriver à la congélation dans ce genre, dont je ne me ſois donné raiſon par un léger examen.

Nous ne devons donc nous arrêter qu'aux cas où l'irrégularité eſt plus marquée.

Mais je prends garde, qu'il faut faire encore ici une diſtinction importante, ſavoir, ſur la température de l'air d'où l'on part, & ſi le temps va du chaud au froid, du temps doux à la gelée, ou au contraire, du froid au chaud & de la gelée au dégel : car cette circonſtance eſt très-capable d'influer ſur toutes ces exceptions.

Je ne vois pas qu'on en ait observé de considérable dans le premier cas, où l'on va du temps doux à la gelée; du moins il ne s'en est point présenté à moi que je ne puisse ramener à quelqu'une ou à plusieurs des causes accidentelles dont j'ai fait mention ci-dessus.

Reste le cas où l'on va de la gelée au dégel, où l'eau demeure encore gelée, quoique le temps soit fort adouci, où elle ne se dégèle pas à un degré de chaleur indiqué par le thermomètre, qui se trouve fort au dessus du terme de la congélation, & d'où en effet la liqueur descend toûjours pour aller à la congélation & à la gelée.

Mais je voudrois encore savoir, si ceux qui nous rapportent ce phénomène prennent pour une véritable fonte de la glace une simple sueur presque imperceptible, ou s'ils exigent que l'eau ruisselle visiblement de dessus la pièce de glace: car j'ai vû bien des fois au commencement du dégel, de ces sueurs se maintenir plusieurs heures & un jour entier, avant que d'aboutir au *ruissellement*, & donner au thermomètre le temps de monter à deux ou trois degrés au dessus de la congélation, avant que le dégel fût plus sensible.

On ne peut douter que la promptitude ou la lenteur des dégels n'apporte quelquefois ici des différences assez marquées;

mais prenant les choſes à la rigueur, je dis que le phénomène ſuit, en général, de ce que nous obſerverons & que nous tâcherons d'expliquer en ſon lieu, ſavoir, que la liquidité détruite dans l'eau qui s'eſt glacée, eſt beaucoup plus long-temps à ſe rétablir qu'elle n'en a été à ſe détruire.

Il peut, ſans doute, y avoir quelques exceptions & quelques variétés de temps & de quantité dans ces rétabliſſemens. *J'ai ſouvent remarqué en hiver*, dit M. Muſſchenbroek *(a), non ſeulement pendant une année, mais encore pendant pluſieurs, & même preſque toutes les années, que lorſqu'il commençoit à geler, le mercure ſe trouvoit dans le thermomètre au 32 degré*, c'eſt-à-dire, au terme de la congélation *(b), & que la gelée ne laiſſoit pourtant pas de continuer, quoique le mercure* de ce thermomètre *s'élevât juſqu'au 36 degré, & qu'il montât même juſqu'au 41 degré, au lieu qu'il dégèle ordinairement quand le mercure ſe trouve au 33 degré, & qu'il dégèle même fortement quand il s'eſt élevé juſqu'au 36 & 40 degré.* Voilà l'exception à l'ordre général, la glace ne fond pas quelquefois lorſque le thermomètre monte de la gelée au 36me & même juſqu'au 41me degré, quoiqu'elle commence d'ordinaire à ſe

(a) Eſſai de Phyſique, p. 445.

(b) Comme au thermomètre de Fahrenheit, *ſup. p. 207.*

fondre lorſque le mercure du thermomètre eſt remonté au 33me degré, & à ſe fondre *fortement*, lorſqu'il arrive au 36me & au 40me. Cet intervalle de 33 à 40 ou à 41, répond à environ 3 degrés du thermomètre de M. de Reaumur.

Sur quoi je remarque que cet habile Obſervateur ne dit pas qu'il ait jamais vû l'eau ſe glacer avant que la température de l'air arrivât du temps doux à la gelée, lorſque le thermomètre n'eſt encore deſcendu qu'au 41me ou au 36me; mais ſeulement qu'il l'a vûe encore glacée, ou ne ſe pas dégeler, lorſqu'après la gelée le temps s'adouciſſoit juſquà ces degrés de chaleur : ce qui confirme & la diſtinction que j'en ai faite ci-deſſus, & la cauſe générale que j'en ai aſſignée.

Or ſi c'étoit autre choſe que l'abſence ou l'affoibliſſement de la matière ſubtile ou ignée qui produisît la congélation de l'eau, ſi c'étoient des *corpuſcules frigorifiques* quelconques qui s'introduiſiſſent dans l'eau ſans s'introduire dans l'air, & ſans faire baiſſer le thermomètre, comme quelques Auteurs qui inſiſtent ſur ces exceptions le prétendent pourquoi ces exceptions n'auroient-elles pas lieu, lorſque le temps va du chaud au froid avant la gelée & avant que l'eau eût gelé auſſi-bien qu'après, & en allant de la gelée au dégel ? Ces gelées ſubites qui arrivent dans

certains pays par les corpuſcules nitreux & ſalins qui ſe répandent tout à coup dans l'air, ſe font également ſentir, & dans l'air & dans les eaux, & ſur les hommes & ſur le thermomètre; ce n'eſt même vrai-ſemblablement que par l'air & par tous les milieux d'alentour qu'ils agiſſent ſur les eaux; comme nous l'avons expliqué dans la première partie.

Mais enfin, dira-t-on, d'où viennent donc ces cas irréguliers dont il s'agit? Voilà, je l'avoue, ce que je ne dirai pas exactement, ne les ayant jamais obſervés dans cet eſprit, ou plûtôt les ayant toûjours cru devoir attribuer à quelqu'une des circonſtances dont j'ai parlé, ou à la complication de ces circonſtances, ou à la cauſe, l'eſpèce, l'intenſité ou la durée de la gelée qui a précédé, ſelon qu'elle étoit elle-même l'effet de quelqu'une des cauſes générales ou particulières que j'ai décrites dans la première partie, & en même temps à la cauſe, à l'eſpèce du dégel, & aux circonſtances qui l'accompagnoient.

On verra encore mieux dans la ſuite combien tout ceci eſt plein d'équivoques & de faits admis ſans preuve.

CHAPITRE VII.

Suite du même ſujet; examen du ſecond cas, ſavoir, ſi l'eau ſe gèle conſtamment dans quelques pays par un degré de froid beaucoup moindre que celui de la congélation ordinaire indiqué ſur nos thermomètres.

ON a ſouvent allégué ce fait indiſtinctement avec les précédens, & l'on en a tiré les mêmes conſéquences en faveur des corpuſcules frigorifiques, ſans s'apercevoir qu'il étoit d'une toute autre claſſe, & ſans ſe rendre trop difficile ſur ſa réalité. Il eſt clair cependant, qu'on n'en pouvoit conclurre autre choſe, ſinon que l'eau des pays où il auroit lieu devroit être d'une conſtitution différente de celle de nos climats, &, quoi qu'il en ſoit, que la cauſe générale de la congéiation, non plus que celle de la liquidité, n'en ſauroient recevoir la moindre atteinte. Car où ſeroit l'inconvénient, que la même cauſe eût plus ou moins d'activité à raiſon des pays & des climats où elle s'exerce, comme elle en a peut-être dans différentes planètes du tourbillon ſolaire, ſur les liquides & ſur les ſolides qui les compoſent,

à raiſon de leur éloignement du Soleil, & de leur ſtructure particulière !

Il ne ſeroit donc pas ſurprenant que le terme de la congélation variât, ſuivant les différentes contrées, les différens climats, & même ſelon certaine loi, de manière, par exemple, qu'il fallût plus ou moins de froid pour convertir l'eau en glace dans un pays que dans l'autre, ſelon qu'il ſeroit plus ou moins près du pole. Il n'y auroit rien là qui fût abſolument contraire à nos principes; mais contraire ou non, il faut du moins que l'exception en ſoit bien conſtatée.

La plus fameuſe obſervation qu'on apporte ſur ce ſujet, &, je crois, la ſeule qui fût concluante, eſt celle de M. Cyrillo, Profeſſeur de Médecine à Naples. Les nouvelles littéraires l'annoncent avec confiance. *Voici*, dit-on, *une expérience faite à Naples avec le thermomètre de Londres du fameux Haukſbée, & communiquée à l'Academie Gallianique par le Médecin Cyrillo. La Table Angloiſe marque la glace au degré 65; à Naples la glace ſe forme conſtamment au degré 55, plus ou moins. Cela prouve qu'il faut encore autre choſe que le froid pour former la glace; ce qui eſt*, ajoûte le Journaliſte, *une choſe très-connue* *. Des Phyſiciens diſtingués, tels

* Journ. Hiſt. de la Rép. des Lettres, *To. 2, p. 288, an. 1733.*

que

que M. Muſſchenbroek *(a)* & autres la citent & s'en ſervent dans le même eſprit; & elle eſt rapportée en pluſieurs endroits des Tranſactions Philoſophiques *(b)* de la Société Royale à qui M. Cyrillo l'envoya, après l'avoir répétée, comme il l'aſſure, pendant pluſieurs années. Mais il eſt bon de voir comment M. Cyrillo lui-même s'en explique dans le n.° 430 des Tranſactions.

» Le plus grand froid de l'année dernière (1731) & du commencement de celle-ci « (1732) a été obſervé, lorſque la liqueur « du thermomètre deſcendoit au 56me & « 57me degré, temps auquel on voyoit de « la neige ſur les montagnes, & où il geloit « dans la ville. De même au mois de Dé- « cembre *ſuivant*, lorſqu'on a vû de la glace, « le thermomètre étoit deſcendu à 55 & 56: « ſur quoi il faut remaquer qu'à la Table « ou *Echelle* du thermomètre d'Haukſbée, « le ſigne de la gelée, en Anglois *Froſt*, eſt « indiqué au 65me degré. Mais par les obſer- « vations que je fais depuis pluſieurs années, « j'ai trouvé que la glace ſe formoit lorſ- « que la liqueur de ce thermomètre, qui « m'a été envoyé de Londres, deſcendoit « ſeulement au 55me. D'où l'on ne peut « nier qu'il ne faille un moindre froid pour «

(a) Eſſai de Phyſique, p. 445.
(b) Voy. les num. 424, 430, 434, 435, &c.

» la formation de la glace à Naples qu'à Londres. »

Qui ne croiroit, en voyant un fait si bien circonstancié, admis par tant d'habiles gens, employé à détruire les idées les plus reçûes sur la congélation de l'eau, & pour établir une hypothèse qui n'est rien moins que lumineuse, que c'est un des plus certains de la Physique moderne ? Nous allons montrer cependant combien il est équivoque, pour ne rien dire de plus.

Feu M. Martine, de la Société Royale de Londres, & de celle d'Edimbourg, ayant passé à Paris en 1739, me communiqua quelques articles d'un excellent Traité auquel il travailloit sur la théorie & la construction des thermomètres, & qui fut donné l'année suivante au public *(a)*. L'un de ces articles regardoit la fameuse observation de M. Cyrillo ; & il résulte sommairement de ce qu'il en dit *(b)*,

Qu'en général, les thermomètres d'Haukfbée, ou *Anglois*, ou *de la Société*, comme M. Martine les nomme, ne sont nullement exacts dans leur graduation, & sur-tout par rapport au terme de la glace. Il distingue ceux dont la Société garde le *modèle*, de ceux qu'on fait communément à Londres,

(a) Sous le titre rapporté ci-dessus dans la note de la page 207.

(b) Pages 192, 227.

& qu'on envoie dans les Provinces & hors du Royaume. Cependant ce qu'il ajoûte enſuite ſemble tomber ſur le principe de conſtruction des uns & des autres. « L'échelle de ces thermomètres commence, dit-il, « par 0, c'eſt-à-dire que 0 eſt marqué au « haut de la machine (je n'en ſais pas la « raiſon) & les nombres croiſſent en deſ- « cendant, à meſure que la chaleur décroît. « Vers le haut de l'échelle eſt écrit *très-chaud;* « à 25 degrés, *chaud;* à 45 degrés, *tempéré;* « & le nombre 65 indique le point de la con- « gélation. Mais par les expériences que j'ai « faites avec quelques-uns de ces thermomè- « tres qui avoient été conſtruits aſſez exacte- « ment ſur le modèle qu'on garde à la Société « Royale, j'ai trouvé qu'en les plongeant « dans de la neige qui ſe dégeloit, l'eſprit de « vin deſcendoit vers les 78 ou 79 degrés, « près de 14 degrés plus bas que le point où « l'on s'étoit arrêté juſqu'à préſent : aug- « mentation énorme, & qui réduiroit au pro- « dige les obſervations du Docteur Cyrillo « à Naples, ſelon leſquelles la congélation « arrive lorſque la liqueur n'eſt encore deſ- « cendue qu'au 55me degré, ſi ſon ther- « momètre avoit été véritablement conſtruit « ſur l'étalon de la Société. »

En effet, ce ſeroit alors de 24 degrés que la gelée devanceroit à Naples le terme ordinaire de la congélation, ou de plus de

9 degrés du thermomètre de M. de Reaumur ; car c'eſt à peu près ce que valent 24 degrés de celui d'Haukſbée, ſelon la table de comparaiſon qu'en a donnée M. Martine *.

Auſſi ne doute-t-il pas qu'il n'y ait ici, ou de la négligence de l'ouvrier dans la conſtruction du thermomètre, ou de celle de M. Cyrillo, qui aura tenu cet inſtrument dans quelque lieu moins froid que ceux où l'air glacial ſe faiſoit ſentir : & voici enfin le ſoupçon pleinement juſtifié, quelle que ſoit la cauſe de l'erreur.

Je voulois en écrire à Naples, mais ayant appris que M. Taitbout Conſul de France à cette Cour, étoit à Paris, j'ai cru ne pouvoir mieux m'adreſſer qu'à lui, & d'autant plus, qu'il nous a donné des obſervations météorologiques très-exactes, faites à Naples dans le cours des années 1742, 1743 & 1744, dont il ſera fait mention dans l'Hiſtoire ou dans les Mémoires de l'Académie des Sciences.

M. Taitbout m'a donc aſſuré, & a bien voulu encore me le certifier par écrit, qu'il n'avoit jamais rien vû à Naples de pareil à ce que M. Cyrillo en a publié, que la glace y paroiſſoit dans la ville, aux fontaines &

* Il a fixé néanmoins depuis à 77 le vrai terme de la congélation ſur le thermomètre de la Société, pour des raiſons qu'il eſt inutile de rapporter.

aux autres pièces d'eau préciſément comme à Paris & par-tout, lorſque le thermomètre de M. de Reaumur, dont il ſe ſervoit, étoit deſcendu au terme de la congélation ; qu'à la vérité il avoit vû quelquefois telle fontaine ou telle pièce d'eau glacée avant que la liqueur du tube fût parvenue à ce terme, à un demi-degré, ou à un degré près, plus ou moins ; mais que cela n'étoit arrivé que lorſque cette eau, par la ſituation du lieu, au déboucher de quelque rue ou de quelque carrefour, s'étoit trouvée expoſée au vent qui venoit des montagnes voiſines couvertes de neige : effet très-ordinaire, commun à tous les pays, & dont nous avons donné raiſon en pluſieurs endroits de cet ouvrage, & ſur-tout dans le chapitre IX de la première partie.

Il eſt à remarquer que le thermomètre qui a ſervi aux obſervations de M. Taitbout, *étoit expoſé au nord, en plein air, ſans bâtimens d'un côté ni de l'autre, & élevé de 34 pieds au deſſus du ſol d'un jardin.* Et ces conditions ſont ſi eſſentielles, que je trouve à côté d'une de ſes obſervations du 1er Février 1744, une note, où il avertit que ſon thermomètre d'obſervation étant 1 degré au deſſous du terme de la glace, *un autre thermomètre* de la même conſtruction, *dans une chambre ſans feu, étoit au lever du Soleil à 6 degrés au deſſus.* Ce qui donne

une différence beaucoup plus grande que celle que M. Cyrillo avoit voulu établir entre la congélation de l'eau à Naples & à Londres; car 6 degrés du thermomètre de M. de Reaumur en valent 15 de celui d'Haukſbée, ſelon la table de comparaiſon de M. Martine.

CHAPITRE VIII.

Suite du même ſujet conſidéré ſous une autre face, ſavoir, ſi l'eau peut être refroidie par une violente agitation de ſa maſſe, ou par l'impulſion redoublée d'un nouvel air, & enfin glacée.

IL ſuit de tout ce qui a été obſervé ci-deſſus, que l'eau proprement dite, & ſans mélange, ſe gèle par-tout au même degré de froid, & qu'en général, elle ne ſe gèle que quand l'air ou le milieu quelconque eſt arrivé à ce degré. Mais n'y auroit-il point de cas particulier, où une eau moins froide, & dans un air moins froid, ſeroit ſenſiblement refroidie, & enfin glacée! Pouſſons là-deſſus nos doutes & nos recherches plus loin qu'on n'a porté les aſſertions précipitées dont nous venons de faire voir le peu de fondement.

Nous avons conclu des expériences &

des obſervations rapportées dans les Chapitres III & IV, que le repos de maſſe de l'eau & ſon ſéjour dans le même air ou dans le même milieu, lui conſervoient ſa liquidité, quoiqu'elle fût refroidie au delà du degré de la congélation. Nous en avons donné pour raiſon, que le repos de maſſe dans un même milieu favoriſoit le mouvement inteſtin de l'eau, en permettant à la matière ſubtile ou ignée intérieure du liquide de prendre des mouvemens réglés & périodiques qui entretenoient ſon équilibre avec la matière ſubtile extérieure; & nous avons obſervé que la moindre interruption à ce repos, & le plus petit changement de milieu rétabliſſoient l'eau dans ſa diſpoſition à ſe glacer par ſa froideur, & la faiſoient glacer en effet preſque ſubitement. Or de toutes ces expériences, & de toutes ces inductions, ne s'en ſuit-il pas naturellement, & par la raiſon des contraires, qu'une violente agitation de maſſe, & qu'un changement continuel de milieu doivent refroidir, & enfin glacer l'eau encore liquide, & dans un air moins froid que celui de la congélation! Voyons du moins ſi la Nature & les expériences s'accorderont avec ce raiſonnement.

Les expériences ſur ce ſujet me paroiſſent d'abord très-difficiles à pratiquer. Car comment agiter violemment une maſſe d'eau

ſans produire dans ſon intérieur une agitation, une colliſion de parties qui ne la diſpoſe point à une plus grande chaleur, ſelon la loi générale des corps frottés les uns contre les autres! & ſi cette agitation de maſſe, pour avoir ſon effet, doit lui procurer une continuelle mutation d'air ou de milieu, dans quel vaiſſeau la mettre pour la contenir, pour l'empêcher de ſe diſſiper par cette agitation même, ſans qu'avec cela il la défende du choc de l'air auquel elle doit être expoſée! L'air renouvellé ne heurtera-t-il pas ſans ceſſe les parois extérieures du vaiſſeau, ſans toucher à ſes parois intérieures! La ſurface contigue de l'eau n'en ſera donc point frappée, & quelle que ſoit alors l'agitation totale de maſſe, cette agitation devient nulle relativement à l'air ambiant, & au liquide contenu dans le vaiſſeau.

Cependant, comme tout ceci roule ſur ce qu'il en doit être de même, ou d'une eau agitée en maſſe dans un air tranquille, ou d'un air agité & pouſſé violemment contre une eau en repos, il s'ouvre une nouvelle route pour nous éclaircir du fait, & je me rappelle à cette occaſion un phénomène qui commence à jetter ici quelque jour.

Je n'ai preſque jamais plongé la boule d'un thermomètre dans un liquide, dans de l'eau, par exemple, ſans qu'en le retirant

de cette eau, l'eſprit de vin ou le mercure du tube n'ait baiſſé ſenſiblement, même dans un air un peu moins froid que l'eau d'où je le retirois. Mais qu'arrive-t-il par-là à ce thermomètre, que d'être mouillé de l'eau d'où il ſort, & à la pellicule d'eau qui le mouille, que de ſe trouver tout-à-coup dans un nouveau milieu, dans un air où vrai-ſemblablement la matière ſubtile ne ſe meut pas comme dans l'eau, & avec laquelle l'équilibre dont nous avons parlé dans le Chapitre V, n'a pas eu le temps de ſe former! La quantité de cette deſcente eſt à la vérité très-petite, d'un quart de degré, d'un demi-degré, plus ou moins; mais qu'importe ſi elle eſt réelle & conſtante, comme je viens de le vérifier avec toutes les précautions que demande un tel fait! Il eſt vrai encore que le nouveau milieu, que l'air, n'eſt ni agité ni pouſſé violemment contre cette pellicule d'eau: auſſi l'effet en eſt-il peu ſenſible. Cependant l'air n'eſt jamais ſans quelque agitation de parties dans un lieu tel qu'une chambre; mais expoſez au vent la boule de ce thermomètre ainſi mouillée, ou ſoufflez ſimplement contre de dix à douze pouces de diſtance, vous verrez encore un peu deſcendre la liqueur dans le tube.

Cela poſé, j'en viens aux expériences ſuivantes.

Première expérience. Ayant placé à 7 ou 8 pouces de distance l'un de l'autre les deux thermomètres à mercure décrits ci-dessus *, j'ai enveloppé la boule de l'un d'un linge lié au dessus avec un fil: je l'ai plongée dans l'eau dont j'avois rempli un vaisseau de fayence de trois pouces de diamètre, & j'ai laissé le tout en cet état jusqu'à ce que le mercure de ce thermomètre fût descendu ou monté au point de température de l'eau. Ce point s'est trouvé le même que celui de l'air marqué sur l'autre thermomètre qui étoit auprès; & comme la chambre où j'ai fait ces expériences est toûjours fermée & sans feu, & que l'air s'y soûtient long-temps au même degré de chaud ou de froid, j'y retrouvai le lendemain les deux thermomètres au même point, savoir, à 8 degrés au dessus du terme de la congélation. J'avois pris de la chambre voisine où l'on fait du feu, un gros soufflet que j'avois mis quelques heures auparavant dans celle de l'expérience pour l'y laisser prendre à peu près la même température. Je retirai du vaisseau le thermomètre qui y plongeoit, ou plûtôt j'ôtai simplement le vaisseau qui étoit au dessous, & je soufflai assez fortement avec le soufflet de 4 à 5 pouces de distance contre le linge mouillé qui en enveloppoit la boule. Je vis alors le mercure du tube descendre sensiblement, & qui en moins de deux minutes

* Note de la page 214.

ſe trouva 2 ½ degrés plus bas qu'auparavant, c'eſt-à-dire, à 5 ½ degrés au deſſus du terme de la congélation, où il s'arrêta. Je ſoufflai de même un moment après contre la boule toute nue du ſecond thermomètre; mais le mercure monta dans celui-ci d'environ un demi-degré, conformément à ce qui a été dit ci-deſſus * ſur une pareille expérience, & apparemment par les mêmes raiſons: preuve évidente que le mercure n'étoit deſcendu dans le premier qu'en vertu du linge mouillé ou de l'eau qui en enveloppoit la boule, & qui étant refroidie par la colliſion de l'air, quoique moins froid, communiquoit ſa froideur au mercure.

Cette expérience ayant été répétée pluſieurs fois & en divers temps, comme il faudra l'entendre de celles qui ſuivent, donna toûjours à peu près le même abaiſſement, à un demi-degré de différence plus ou moins: ainſi l'effet n'en eſt pas équivoque. Sur quoi il faut obſerver,

1.° Que le linge mouillé autour de la boule du thermomètre y entretient une pellicule d'eau qui, dans le cas de cette boule ſimplement plongée dans l'eau, s'évaporeroit ou ſe diſſiperoit bien vîte par le ſouffle, & qu'elle y eſt auſſi par ce moyen ſubdiviſée en une infinité de petites parcelles entre les interſtices des filamens qui en ſont imbibés;

* Page 54.

car il y a grande apparence que plus la masse d'eau frappée par l'air est petite, plus & plûtôt l'effet de cette impulsion ou de ce contact est sensible.

2.° Que si par quelque machine on se procuroit un souffle non interrompu qui frappât en même temps la boule de tous les côtés, il est à présumer que l'effet seroit plus prompt & plus considérable.

3.° Que si ces expériences étoient faites en hiver, & lorsque le temps approche de la gelée, il est encore très vrai-semblable que l'effet en seroit plus marqué, & qu'il iroit peut-être jusqu'à la congélation de l'eau. Mais c'est ce que je n'ai point fait, & que je ne suis point en état de faire avant la publication de cet ouvrage.

4.° Il m'a toûjours paru que ces expériences réussissoient mieux en un temps sec, par le vent de nord, & lorsque le mercure est fort haut dans le baromètre, qu'en un temps humide, par le vent de sud, & lorsque le baromètre est bas : en cela semblables à celles de l'Electricité.

5.° Une autre observation importante sur ce sujet, c'est qu'après l'expérience le linge mouillé demeurant autour de la boule du thermomètre, & le mercure y étant descendu de 2, de 2 $\frac{1}{2}$, ou de 3 degrés, il se soûtient plusieurs heures en cet état, quoique dans un pareil espace de temps une beaucoup plus

grande masse d'eau exposée à un air plus froid que celui de la chambre d'expérience, & remise ensuite dans cette chambre, en reprenne la température.

6.° Enfin lorsque la boule retirée de l'eau avec son linge, sans qu'on y souffle dessus, est simplement exposée à l'air de la chambre, le mercure y descend de près de 2 degrés; mais au lieu que dans le cas de l'expérience cette descente, & une plus grande descente, arrive en moins de deux minutes, dans celui-ci ce n'est qu'après plusieurs heures. Et si, en cet état, on y pousse l'air du soufflet, le mercure du tube descend encore presque dans le moment.

Seconde expérience. J'ai pris une bouteille cylindrique de verre de 3 pouces de hauteur, sur environ 15 lignes de diamètre, & dont le goulot étoit assez large pour y laisser entrer la boule d'un des thermomètres. Je l'ai entourée d'une bande de linge qui en faisoit deux ou trois fois le tour, & qui se replioit sur son fond, & près du goulot. J'ai assujéti ce linge avec du fil, & attaché la bouteille par le goulot au bout d'une ficelle de 5 à 6 pieds de longueur. Je l'ai remplie d'eau, & je l'ai plongée ainsi dans un vase plein de la même eau, jusqu'à ce que le tout y eût repris la température de la chambre, qui étoit alors de 10 degrés au dessus de la congélation. Après quoi,

l'ayant retirée du vaſe, par la ficelle, je l'ai fait agiter en rond, à la manière dont on fait tourner une fronde, l'eſpace de 3 minutes. Il en eſt tombé ſeulement quelques gouttes d'eau par le goulot, tout le reſte demeurant rejeté & retenu vers le fond par la force centrifuge. J'y ai plongé ſur le champ le thermomètre, & le mercure y eſt promptement deſcendu d'environ 2 degrés.

Une bouteille de plus grande ſurface relativement à ſa capacité, & attachée à une roue où elle tourneroit plus rapidement & plus long-temps, donneroit peut-être un plus grand refroidiſſement; mais celui-ci ſuffit pour notre but, & je n'ai ni le temps ni la commodité d'en pouſſer plus loin l'épreuve.

Troiſième expérience. Dans la partie méridionale de la Chine, à Quanton, on ſe ſert pour rafraîchir l'eau d'une machine dont la conſtruction porte entièrement ſur le principe des deux expériences qu'on vient de voir. C'eſt ce que j'ai appris de M. Godeheu de la Compagnie des Indes, qui ayant été long-temps dans cette ville, & y ayant tout vû avec des yeux très-éclairés, en a rapporté une de ces machines, & a bien voulu m'en faire préſent. Elle conſiſte en une eſpèce de lanterne de petit oſier délié, travaillée à jour en forme de treillis ou de filigrane, de figure cylindrique, ayant pour couvercle une calotte de même, & pour

baſe une grille faite avec des tringles de bois qui ſe croiſent, & ſur laquelle poſe une groſſe bouteille ſphéroïde à long & gros col, qu'on remplit d'eau. Cette bouteille eſt d'une terre cuite, griſâtre, poreuſe, & d'environ une ligne d'épaiſſeur, que l'eau pénètre bien-tôt juſqu'à ſa ſurface extérieure; la lanterne a quatre pieds, pour être poſée ſur une table, & des cordons pour être ſuſpendue. Placée de l'une de ces manières en quelqu'endroit de la maiſon, entre deux portes ou deux fenêtres qui donnent un courant d'air, on prétend que l'eau s'y rafraîchit conſidérablement.

Je ne ſais juſqu'où peut aller ce rafraîchiſſement dans ces pays chauds & autour du Tropique; mais voici quel a été le ſuccès de l'expérience à Paris, en un temps où mes thermomètres étoient au tempéré, 10 degrés au deſſus de la congélation, & où il ſouffloit un petit vent d'oueſt.

Je ſuſpendis vers les onze heures du ſoir la machine ainſi préparée, à la porte de la chambre d'expérience, entre la fenêtre de cette chambre qui eſt vis-à-vis, & qui donne ſur l'oueſt, & celle de la chambre voiſine qui regarde l'eſt, après les avoir ouvertes l'une & l'autre, & j'expoſai au même courant d'air, tout proche de la lanterne, un des thermomètres décrits ci-deſſus. Le lendemain matin vers les ſept heures,

je trouvai ce thermomètre à 8 degrés au deſſus du terme de la congélation, & l'ayant ſur le champ plongé dans l'eau de la bouteille, il y deſcendit, en moins d'une minute, à 6, c'eſt-à-dire de 2 degrés bien complets, où il s'arrêta. Je vuidai l'eau du col de la bouteille où le thermomètre avoit été plongé, je verſai une partie de celle du ventre ſphéroïde dans un vaſe à part, & j'y plongeai le thermomètre qui demeura encore au même point. Ainſi toute l'eau de la bouteille avoit acquis la même température, ſavoir, 2 degrés de froideur de plus que le milieu ambiant ou le courant d'air dont elle étoit continuellement frappée.

Il eſt viſible que cette expérience revient au même que les deux précédentes. Cette terre poreuſe toute imbibée d'eau, & par où il s'en étoit même filtré la valeur d'une petite taſſe à café, produit ici abſolument le même effet que mon linge mouillé, & d'une manière plus permanente & de plus grand uſage. Le peuple de Quanton pratique donc journellement, & mieux, ce que je n'avois trouvé qu'après un long circuit & des ſpéculations dont vrai-ſemblablement il ne s'eſt pas mis en peine. L'idée même du linge mouillé, ou de la paille, ou de telle autre matière, dont on entoure la bouteille, n'eſt pas nouvelle: on s'en ſert ſur la côte de Coromandel, & dans pluſieurs autres

endroits de l'Inde, pour rafraîchir l'eau, en l'exposant à un certain vent de terre, qu'on assure d'ailleurs être très-chaud, mais qui ne laisse pas de produire ce rafraîchissement. *Le Souray,* dit Bernier, dans son voyage de Cachemire, *est un flacon d'étain plein d'eau, il ne tient ordinairement qu'une pinte. L'eau se rafraîchit très-bien dans ce flacon, pourvû qu'on ait soin de tenir toûjours humectée la pochette* (de toile rouge) *qui l'environne, & que le serviteur qui le tient à la main marche & agite l'air, ou bien qu'on le tienne au vent, comme on fait ordinairement sur trois jolis petits bâtons croisés, pour ne point toucher la terre; car l'humidité du linge, l'agitation de l'air, ou le vent, sont des conditions absolument nécessaires pour que l'eau se rafraîchisse* *.

Il ne me reste donc de tout ceci, que de l'avoir assez naturellement amené à la suite de mes principes.

CHAPITRE IX.

Réflexions sur les expériences & les observations précédentes.

J'EN laisserai la plus grande partie à faire au lecteur, & je remarquerai seulement,

Que la production & l'explication de ce

* *Suite des Mém. du sieur* Bernier *sur l'Empire du grand Mogol, p. 13.*

phénomène dépend en inverſe de ce que nous avons dit *(a)* ſur celui de l'eau qui ne ſe gèle point, quoiqu'expoſée à un air plus froid que celui de la congélation :

Que l'obſervation 5 ci-deſſus *(b)* achève de prouver dans la circonſtance contraire, que l'eau ſe maintient long-temps dans le même état par ſon repos de maſſe, & tandis que le milieu demeure le même, comme il arrive ici aux particules de celle qui ſe trouve engagée dans les interſtices du linge ou des molécules de terre de la bouteille:

Que ces phénomènes d'une eau qui, dans les circonſtances données, ſe maintient ſi long-temps, vû la petiteſſe des maſſes, dans un degré de froideur qui ſurpaſſe ſi ſenſiblement celle du milieu ambiant, fourniſſent une nouvelle preuve du principe intérieur *(c)* que nous avons aſſigné de ſa liquidité, & de ſon mouvement inteſtin :

Que quoique nous ne ſoyons pas en droit d'avancer qu'on pourra ſe procurer de la glace par les moyens indiqués dans le chapitre précédent, il eſt pourtant à préſumer que la choſe n'eſt pas impoſſible dans les circonſtances requiſes & énoncées, ou équivalentes. Une tentative à faire là-deſſus, ſi l'on avoit pluſieurs bouteilles ſemblables à celle de la

(a) Sup. pp. 220 & 246.
(b) Page 252.
(c) Première partie.

3me expérience du chapitre précédent, ſeroit de verſer dans une ſeconde bouteille l'eau déjà refroidie dans la première, & d'opérer ſur cette ſeconde comme ſur la première, ſans attendre néanmoins un ſi long eſpace de temps, ou en ſe procurant un courant d'air plus rapide, d'en faire autant ſur une troiſième bouteille, & ainſi de ſuite, pour voir ſi la froideur de l'eau n'augmenteroit pas toûjours, & ſi la congélation ne s'en enſuivroit pas.

Enfin je propoſerai à cette occaſion & d'après ces principes la conjecture qui ſuit, ſur la congélation des vapeurs dans l'atmoſphère, & ſur la formation de la neige qui en réſulte.

Il eſt clair par tout ce que nous venons de dire dans les chapitres précédens, que les vapeurs ſuſpendues dans l'atmoſphère, dans un air dont elles ſont continuellement frappées, ou, ce qui revient au même, dans lequel elles nagent & ſe meuvent en divers ſens, doivent s'y refroidir de deux ou trois degrés au delà de la température actuelle de cet air, & vrai-ſemblablement beaucoup plus, à raiſon de leur ténuité. Or par les faits poſés, ſi la température ou la froideur de l'air où nagent les vapeurs approche de deux ou trois degrés du terme de la congélation, ne pourront-elles pas s'y geler ! Ces vapeurs congelées ne refroidiront-elles pas à leur

tour l'air où elles nagent? Et ne réſulteroit-il pas de ce refroidiſſement moyen & réciproque, ſur-tout dans ſes commencemens, une maſſe ou portion conſidérable de l'atmoſphère moins froide qu'au degré de la congélation? En un mot la formation de la neige, qui ne conſiſte viſiblement qu'en de petits filets de vapeur congelés, n'exigeroit-elle pas moins de froid dans l'atmoſphère que la formation de la glace ordinaire, en tant que celle-ci ſe fait ſur des maſſes ſenſibles d'eau & beaucoup plus grandes? Ces neiges que nous voyons tomber quelquefois en un temps moins froid que celui de la gelée, ou qui ſemblent en amener l'adouciſſement, ne ſe feroient-elles point formées de cette manière, & en de ſemblables circonſtances? & certaines grêles d'été, dont les grains ne paroiſſent être auſſi que des flocons de neige entaſſés, & qui en retiennent ſouvent la rareté & la blancheur vers leur centre, quoique liſſes à leur ſurface, & en partie fondus en traverſant la baſſe région de l'air, ne participeroient-elles pas de cette cauſe?

SECTION III.

Des phénomènes de la Glace lorſqu'elle eſt toute formée.

CHAPITRE PREMIER.

Du volume de la Glace.

C'EST, comme nous l'avons dit, la force avec laquelle l'eau tend à ſe dilater & à augmenter de volume dans le moment de ſa congélation & pendant toute ſa congélation, qui produit la rupture des vaiſſeaux où elle étoit renfermée, & tous les autres effets ſurprenans que nous en avons déduits dans la première Section. Mais quel eſt enfin ce volume, lorſque la maſſe d'eau eſt entièrement glacée, ou dans un bloc quelconque de glace conſidéré ſéparément ? Il y aura, ſans doute, ici autant de variété que dans la meſure de la force qui produit le phénomène. Car plus ou moins de bulles d'air & plus ou moins groſſes qui auront reſté dans la glace par rapport à la première cauſe de ſon gonflement, une ſortie plus ou moins prompte de l'air qui s'en ſera échappé en plus grande ou en moindre quantité par rapport à la ſeconde, des circonſtances plus ou moins favorables par rapport à la troiſième,

le degré de froid qui a produit la gelée, & la température actuelle de l'eau qui fait le terme de la comparaiſon, ſeront autant de ſources de variété ſur l'effet total & ſur le volume qui en réſulte après la congélation. Il ne ſera donc pas ſurprenant que les expériences varient là-deſſus entre les mains de divers Obſervateurs, ou dans celles d'un ſeul, comme je l'ai moi-même éprouvé : cependant il eſt toûjours utile de ſe faire en pareils cas une ſorte de point fixe autour duquel on puiſſe ranger les variations.

Pour cela j'eus recours à un moyen tout-à-fait ſemblable à celui dont on ſait que ſe ſervit Archimède pour découvrir la quantité d'argent qui avoit été frauduleuſement mêlé à la couronne d'or du Roy Hiéron, ſans la fondre ni l'endommager. Je peſai d'abord une pièce de glace à part ; je ſuſpendis enſuite au bras de la balance un morceau de fer ou de quelqu'autre métal plongé dans l'eau, pour voir ce qu'il peſoit dans cette eau, & après avoir remarqué quel étoit le poids du glaçon dans l'air, & le poids du fer dans l'eau, je liai enſemble le fer & le glacon avec un petit fil, je les ſuſpendis au bras de la balance, & je les plongeai dans la même eau. Ce que ce total peſa de moins que le morceau de fer dans l'eau, me donna la valeur de la légèreté du morceau de glace par rapport à un pareil volume

d'eau, environ comme 19 à 18, qui eſt le rapport même des volumes de la glace & de l'eau ; les volumes des corps étant en raiſon directe de leurs légèretés, & inverſe de leurs peſanteurs ſpécifiques. L'opération ſera d'autant plus exacte qu'elle aura été faite plus promptement, afin que la glace n'ait pas le temps de fondre dans l'eau, & que la température de cette eau s'éloignera moins du degré de la congélation : précautions que ſans doute je n'avois pas négligées lorſque je fis cette expérience en Languedoc, puiſque je retrouve ſur mes mémoires, qu'ayant peſé de nouveau le morceau de glace dans l'air, il y fut ſenſiblement du même poids qu'auparavant. J'ai répété la même expérience à Paris pendant la forte gelée de 1740, lorſque le thermomètre de M. de Reaumur étoit à près de 10 degrés au deſſous de la congélation, & l'eau où je plongeai la pièce de glace 1 $\frac{1}{2}$ degré au deſſus. Le volume de la glace excéda celui de l'eau d'environ la 14me partie de celui-ci : ce qui pourroit, ſans doute, aller beaucoup plus loin ſelon M. Boyle, & juſqu'à un 10me ou un 9me *; mais j'ignore comment & dans quelles circonſtances il l'a vérifié.

Si l'on en croyoit quelques Navigateurs, ou les Auteurs de leurs voyages, il faudroit conclurre que le poids de ces glaçons immenſes qui flottent dans les mers du Nord,

* J. B. du Hamel, *de corpor. affectionibus, p. 126.*

n'eſt que moitié de celui d'un pareil volume d'eau. Car, ajoûtent-ils, en manière de règle connue, *ces eſpèces de montagnes d'une groſſeur étonnante ſont auſſi profondes ſous la ſurface de la mer, qu'élevées au deſſus.* Ils n'auroient pas exagéré, s'ils avoient dit, qu'elles ſont 9 à 10 fois auſſi profondes; puiſque par la règle d'Hydroſtatique, encore plus connue & plus certaine, la partie de tout corps flottant, qui excède la ſurface du liquide, eſt à ſa partie ſubmergée, comme la différence de leurs peſanteurs ſpécifiques eſt à la peſanteur du moins peſant. Ainſi la peſanteur de l'eau de ces mers, & celle de la glace qui y nage, étant ſuppoſées, ſi l'on veut, avec M. Boyle, en raiſon de 10 à 9, la partie de cette glace, qui eſt au deſſus, ne ſauroit être à celle qui eſt au deſſous, que comme 1 eſt à 9. C'eſt-là, dis-je, ce qui s'en enſuit pour toute pièce de glace compriſe entre deux ſurfaces planes & parallèles, comme elles ſont ordinairement: car à l'égard des glaçons qui auroient une autre figure, & qui ſeroient concaves ou convexes, au deſſus ou au deſſous, & irréguliers quelconques, il n'y a plus de règle fixe à y appliquer, quoique la règle générale ſubſiſte toûjours par rapport au total du poids & du volume.

Nous avons remarqué ci-deſſus, que la glace de l'eau purgée d'air dans la machine pneumatique,

pneumatique, pesoit un peu plus que celle de l'eau ordinaire. Par quelques essais que j'en ai faits, la différence du poids de cette glace à celui de l'eau, peut aller à un 22me. Cette différence est donc encore plus grande que celle de l'eau de rivière à l'eau de mer, qu'on évalue à un 48me.

CHAPITRE II.

Si le volume de l'eau glacée ou de la glace continue d'augmenter.

ON peut faire sur le volume de la glace une question qui n'est pas sans fondement; savoir, si ce volume augmente encore après qu'elle est toute formée? nous verrons bien-tôt qu'il diminue par l'évaporation, mais c'est ce dont nous faisons abstraction ici. Et si malgré cette évaporation, & lorsqu'elle ne sauroit avoir lieu, l'augmentation de volume se manifeste par ses effets ordinaires, nous devrons en conclurre qu'elle est bien réelle.

Puisque le froid & la congélation produisent le gonflement de l'eau & de la glace dans ses commencemens, pourquoi la continuation du froid, & presque toûjours un plus grand froid, n'y produiroient-ils pas un plus grand gonflement après qu'elle est toute formée? Il n'y auroit que le

repos de toutes ſes parties entr'elles qui pût s'y oppoſer ; mais voici des faits qui prouvent que ce repos n'eſt qu'apparent.

Le canon de fer employé dans l'expérience de Mrs Huguens & Buot, dont nous avons parlé ci-deſſus *, ne creva que 12 heures après avoir été rempli d'eau & expoſé à la gelée. On ne marque pas le diamètre de ce canon ; mais ſi ce n'étoit, par exemple, qu'un gros canon de mouſquet, comme il y a tout lieu de le croire, & que la gelée fût un peu forte, il ne falloit que quelques minutes, ou une heure tout au plus, pour geler cette eau juſqu'à l'axe du cylindre qu'elle y formoit. Car à compter de cet axe juſqu'à la ſurface cylindrique, il n'y pouvoit guère avoir que 4 ou 5 lignes d'épaiſſeur, & en y comprenant celle du canon, un pouce tout au plus de fer & d'eau à pénétrer par le froid. Or c'eſt ce que fait d'ordinaire une forte gelée en une heure & certainement en deux heures. Pourquoi donc l'expanſion preſque invincible de la glace n'auroit-elle produit la rupture du canon qu'après 12 heures d'intervalle !

Un ſemblable effet arrive plus ou moins tard après l'entière congélation, ſur des matières beaucoup plus caſſantes que le fer, & telles que la terre cuite, le verre & la porcelaine, lorſque les vaiſſeaux qui en ſont

* Page 176.

formés ſe trouvent être fort épais relativement à leur capacité ou à la quantité d'eau qu'ils contiennent.

Nous avons remarqué en ſon lieu, que lorſqu'on fait geler de l'eau qui préſente une grande ſurface à l'air froid, & dans des vaiſſeaux dont les parois peuvent ſoûtenir une partie de l'effort de la glace, le reſte de cet effort s'exerce ſur la glace même en la faiſant un peu voûter, ſoit par l'obſtacle que les parois du vaiſſeau oppoſent à ſa dilatation, ſoit par l'expanſion de l'eau & de l'air en bulles, qui ſont au deſſous de la voûte & où la congélation continue d'agir. Ayant mis les choſes en cet état, j'ai percé le vaiſſeau par-deſſous, pour en faire écouler l'eau qui y reſtoit, je l'ai expoſé de nouveau pendant pluſieurs heures ou quelques jours à une forte gelée, & j'ai preſque toûjours trouvé après cela la voûte de glace plus convexe qu'auparavant. Cette convexité eſt peu ſenſible dans l'un & l'autre cas, & il n'eſt pourtant pas impoſſible de la vérifier avec aſſez d'exactitude avant & après, par le moyen d'une règle poſée de champ ſur les bords du vaiſſeau, & en prenant la diſtance de ſon tranchant inférieur au ſommet de la voûte, ou, comme je le ſuppoſe ici, au milieu de la ſuperficie de la glace. Or on voit aſſez que cette augmentation de convexité ne peut être que

l'effet des nouveaux efforts de la glace pour se dilater.

Ce qui nous est indiqué en petit dans cette expérience, arrive en grand, si je ne me trompe, sur les grandes pièces d'eau, sur les lacs & sur les marais glacés, où l'on entend quelquefois un craquement tout semblable à celui d'une poutre qui se rompt. *Ce craquement est produit,* selon toute apparence, *par les parties qui se détachent, & qui se dressent de telle manière les unes contre les autres, lorsqu'elles sont soûtenues par les côtés, que la glace semble s'élever & se rompre en se séparant, & qu'elle forme quelquefois des crevasses qui sont de la longueur d'une demi-lieue, & même d'une lieue entière* *.

J'ai observé bien des fois, & l'habile Observateur dont je viens de rapporter les paroles l'a aussi remarqué, que les bulles d'air qu'on voit dans la glace y augmentoient visiblement de grandeur par succession de temps ; de manière que telle bulle qui ne paroissoit être d'abord que d'une ou deux lignes de diamètre y paroîtra augmentée quelques jours après du double, du quadruple, &c. je dis y paroîtra, parce que les réfractions dans la glace, à travers laquelle on la voit, nous empêchent de bien juger de sa grandeur absolue ; mais son augmentation y étant proportionnelle, on ne peut

* Musschenb. *Ess. de Phys.* p. 443.

douter de sa réalité. Or d'où viendroit-elle cette augmentation? Les parois intérieures de l'espace qu'occupe la bulle ne sauroient se dissiper dans l'intérieur de la glace : il faut donc que la totalité du volume de la glace augmente, que la sphère creuse qui contient cette bulle d'air se dilate, & permette à l'air de se dilater.

Enfin je m'assurai encore plus directement du fait en 1740; car ayant laissé pendant huit jours à la gelée le morceau de glace dont je m'étois servi pour l'expérience du chapitre précédent, & l'ayant appliqué de nouveau à la balance de la même manière & dans une eau de même température, je trouvai son volume relatif augmenté d'environ $\frac{1}{78}$; c'est-à-dire, qu'au lieu qu'il n'étoit auparavant plus léger que l'eau qu'en raison de 14 à 13, il le fut alors en raison à peu près de 12 à 11.

CHAPITRE III.

De la force de la glace par sa résistance à être rompue, brisée ou applatie, & en général de sa consistance.

IL n'a été question jusqu'ici de la force de la glace que par rapport à son expansion & à l'effort qu'elle fait contre tout ce qui s'y oppose. Nous parlerons présentement de

ſa force par la cohéſion & la dureté de ſes parties, & en général de la réſiſtance qu'elle apporte à leur ſéparation, ou à leur déplacement.

En général la glace eſt d'autant plus forte pour réſiſter à ſa rupture, qu'elle eſt plus compacte, qu'elle contient moins d'air, ou que l'eſpèce d'ébullition qui ſurvient à l'eau pendant la congélation a été moins violente. Ainſi la lenteur de la congélation contribue à la force de la glace, en tant qu'elle donne plus de temps à l'air contenu dans l'eau dont elle eſt formée, pour en ſortir.

Je ne prétends cependant parler en cela que de la glace de nos climats où les froids, quelque grands qu'ils nous paroiſſent, ne ſont que médiocres en comparaiſon de ceux des pays du nord près du cercle polaire & au delà. Car la glace pourroit ſe former ſi promptement, & par un froid ſi exceſſif, que l'extrême roideur des amas particuliers des parties propres de l'eau en augmenteroit plus la dureté, que la quantité d'air qui y reſte par la prompte congélation ne la diminueroit. Il en ſeroit alors de cette glace comme de certaines pierres, qui, bien que ruſtiques & poreuſes, ne laiſſent pas d'être beaucoup plus dures que le tuf & que d'autres pierres dont la contexture eſt plus uniforme.

C'eſt-là auſſi à peu près ce qui arrive aux

glaces du nord, ſelon le témoignage d'un ſavant Pilote * qui en a fait une exacte deſcription dans le Journal qu'il écrivit en partie pour ſatisfaire aux curieuſes recherches de la Société Royale de Londres. *La différence*, dit-il, *qu'il y a entre la glace de Spitzbergen & celle de notre climat, c'eſt que la première n'eſt pas aſſez unie pour qu'on y puiſſe gliſſer..... & qu'elle eſt beaucoup plus dure, en ſorte qu'on a de la peine à la rompre..... & à la fondre..... elle eſt auſſi dure qu'une pierre..... & en même temps auſſi ſpongieuſe qu'une pierre-ponce.* Il dit néanmoins que dans les grandes pièces de glace qui ſe trouvent dans la mer glaciale, c'eſt la partie inférieure & tournée vers le fond de la mer, qui eſt la plus ſpongieuſe, que le haut ou la partie ſupérieure l'eſt beaucoup moins, & *qu'on la pourroit nommer la ſubſtance & la moëlle de la glace.*

La raiſon de cette diverſité n'eſt pas bien difficile à concevoir; les particules ſalines étant beaucoup plus peſantes que l'eau, font tendre vers le fond l'eau la plus ſalée; c'eſt pourquoi les eaux douces des rivières qui aboutiſſent à la mer, & même celles des ſources qu'il y a ſouvent au fond de la mer,

* Frédéric Martens de Hambourg, *en 1671.* Journal du Voyage à Spitzbergen, &c. traduit de l'Allemand en François, *ch. III, de la Glace.* Dans le Recueil des Voyages au Nord.

doivent monter ordinairement vers la ſuperficie avant que de ſe mêler parfaitement avec ſes eaux ſalées, qui ſont plus peſantes. Or le ſel étant un obſtacle à la congélation, lorſqu'il eſt mêlé avec l'eau, ainſi que nous le dirons en ſon lieu, il eſt clair que l'eau de la mer, où il y a plus de ſel, doit produire une glace moins compacte & plus ſpongieuſe que celle où il y a moins de ſel. D'ailleurs les glaçons où l'on remarque cette différente conſiſtance ſe trouvent preſque toûjours vers les côtes, ou s'en ſont détachés; car ce n'eſt abſolument qu'auprès des côtes, & juſqu'à une vingtaine de lieues par-delà, que la mer ſe gèle, comme l'ont vérifié les Navigateurs qui ont le plus approché du pole; & c'eſt auſſi auprès des côtes qu'il y doit avoir une plus grande quantité d'eau douce, à cauſe des rivières qui y ont leurs embouchûres.

Les glaces qui ſe trouvent dans les terres en Iſlande ſont ſi dures, qu'il eſt bien difficile de les rompre avec le marteau, & ſi ſèches, que c'étoit autrefois une tradition dans cette Iſle, qu'elles brûloient quand on les mettoit au feu *, de même que du charbon de terre. Pour cette dernière circonſtance, je crois qu'on me diſpenſera d'en chercher l'explication, auſſi-bien que de la

* Adam de Brème, cité dans la Peyrere, *Relation d'Iſlande, art. 49.*

grêle enflammée qu'un Auteur * a écrit qui tomba pendant le grand froid de l'année 1305, & qui causa plusieurs incendies. L'une de ces merveilles pourroit avoir été imaginée d'après quelques concrétions bitumineuses ou nitreuses qui sembloient faire corps avec la glace; l'autre en conséquence de quelque météore ignée qui accompagnoit la grêle. Mais c'est faire trop d'honneur à de pareilles traditions que de leur chercher un fondement.

Pour dire quelque chose de plus précis sur la résistance que la glace apporte à être rompue, je fis geler de l'eau dans un tuyau rond dont l'intérieur avoit quatre lignes de diamètre; je pris ensuite le petit cylindre de glace que je fis sortir en échauffant un peu le tuyau qui le renfermoit; & après l'avoir exposé de nouveau à l'air froid, je l'ajustai sur deux appuis à 6 pouces de distance l'un de l'autre, & je suspendis une corbeille au milieu par un fil, dans laquelle je mis des grains de plomb jusqu'à ce que le cylindre de glace rompît. Je trouvai qu'un peu avant que de rompre il portoit 1 livre 1 once 2 gros. Mais ayant répété plusieurs fois cette expérience, elle varia selon que la glace étoit plus ou moins remplie de bulles d'air, qu'elles y étoient plus ou moins uniformé-

* Krantsius, au rapport de M. Perrault, *Essais de Phys.* tome 4, p. 345.

ment répandues, & ſelon le temps qu'il y avoit que la glace étoit formée. C'étoit dans le Bas-Languedoc: je l'ai faite depuis à Paris en Janvier 1740, le thermomètre étant à plus de 9 degrés au deſſous du terme de la congélation, ſur un cylindre de glace dont la baſe étoit aſſez juſte de 12 lignes ou 1 pouce de diamètre, portant à même diſtance ſur deux appuis, après avoir été expoſé à ce froid pendant vingt-quatre heures. Il ſoûtint 10 $\frac{1}{2}$ livres & rompit à la 11me: ce qui, toutes réductions faites des baſes de fraction, des centres de gravité de ces baſes, & des points d'extenſion & de compreſſion des fibres, ſelon la théorie de la réſiſtance des ſolides, donne la réſiſtance de la glace un peu plus grande que celle du cylindre de 4 lignes de diamètre. Sur ce même pied, & dans les mêmes circonſtances, un cylindre de glace de 12 pouces de diamètre ſoûtiendroit 1512 livres ſans ſe rompre.

Pour comparer cette réſiſtance avec celle de quelques autres corps connus, par exemple, à celle du marbre, j'ai fait le même eſſai ſur un priſme quadrilatère rectangle de marbre blanc que j'avois, d'environ un pied de longueur & d'un pouce de côté à ſa baſe; & l'ayant mis ſur deux appuis à 10 pouces de diſtance, il a porté par ſon milieu 84 livres, poids de marc, pendant quelques ſecondes avant que de rompre, & il a rompu net à angles

droits environ une ligne à côté de son milieu: d'où l'on peut conclurre, après les mêmes réductions dans le détail desquelles nous n'entrerons point ici, que la résistance de la glace est bien inférieure à celle du marbre, & à peu près en raison de 1 à 10. Mais, comme je l'ai remarqué, plusieurs circonstances peuvent faire beaucoup varier ces expériences à l'égard de la glace, & même à l'égard du marbre, du bois & des autres corps solides. Ce qu'on peut aussi en déduire par rapport à la glace d'après ce que j'en ai dit, & le témoignage de Fréd. Martens sur les glaces du Spitzberg, c'est qu'en général la glace résiste d'autant plus à être rompue, qu'elle a été formée par un plus grand froid, ou dans des pays plus froids.

Quant à l'adhérence & à la ténacité de la glace sur les autres corps solides où elle s'est attachée, nous avons une expérience de M. Varignon *, de laquelle il résulte qu'un morceau de glace circulaire, de près de 3 pouces de diamètre, & pesant 3 onces 2 gros, s'étant attaché par sa base à l'appui d'une fenêtre depuis 6 minutes, il ne pût en être détaché par un effort de 16 livres & environ 3 onces, & qu'il fallut y employer le marteau. Mais il manque là, comme on voit, bien des circonstances, pour en conclurre quelque chose d'exact.

(b) Hist. de l'Acad. des Sc. 1691, *p.* 113.

Lorſqu'on porte les doigts ſur un corps très-froid & très-compacte, tel que du métal, il arrive quelquefois qu'ils s'y attachent, & qu'en voulant les retirer trop promptement, on y laiſſe la peau, ou qu'elle en eſt endommagée. Ce qui eſt facile à comprendre, la partie humide de la tranſpiration, & peut-être un peu de ſueur, s'y congèlent ſubitement, & adhérant en même temps au métal & à la peau, les retiennent attachés l'un contre l'autre. Mais un peu de patience, & la chaleur naturelle de la main, feront bien-tôt évanouir ce danger.

La ténacité des parties qui fait la principale force de réſiſtance de la glace, & en général, des corps qu'on veut rompre, en y ſuſpendant un poids, n'eſt pas la même choſe que ce qu'on appelle leur dureté, quoique l'une de ces qualités ne ſe trouve guère ſans l'autre juſqu'à un certain point, & que les deux puiſſent participer d'une ſemblable cauſe. Une table de marbre peut être plus dure qu'une pareille planche de ſapin, & réſiſter cependant beaucoup moins à la rupture par le choc ou par la compreſſion : en un mot la réſiſtance à la compreſſion, & la réſiſtance au choc, ne ſont nullement proportionnelles en différens corps à leur réſiſtance de diviſion ou de rupture par les poids qu'on y ſuſpend entre deux appuis, ou à une de leurs extrémités, lorſqu'ils ſont

retenus & fixement attachés par l'autre. La dureté des corps, plus directement oppoſée à la moleſſe, que la ſimple ténacité, indique auſſi plus particulièrement leur réſiſtance à l'extenſion, à l'applatiſſement, & à tout changement de figure ; & cette réſiſtance eſt ordinairement d'autant plus grande, qu'ils ont plus de diſpoſition à être briſés & pulvériſés, comme on le voit dans la cire, la réſine, plus ou moins refroidies, & dans pluſieurs autres ſubſtances. La force ou la réſiſtance de la glace peut donc être encore conſidérée dans tous ces ſens. Je n'ai garde d'entrer dans un ſi grand détail; mais voici un fait qui en réunit pluſieurs exemples.

Pendant l'hiver de 1740, qui fut très-rigoureux, ſur-tout en Ruſſie, où le froid ſurpaſſa celui de 1709, & qui l'égala preſque dans nos climats, on conſtruiſit à Péterſbourg un Palais de glace de 52 $\frac{1}{2}$ pieds de longueur, ſur 16 $\frac{1}{2}$ de largeur, & 20 de hauteur, ſans que le poids des parties ſupérieures, & du comble qui étoit auſſi de glace, parût endommager le moins du monde le pied de l'édifice. La Neva qui étoit tout proche, & où la glace avoit deux à trois pieds d'épaiſſeur *, en avoit fourni les matériaux. Les blocs de glace qu'on en

* Comme je l'apprends de M. Sanchez, alors premier Médecin de S. M. I. la Czarine Anne.

tiroit, étoient d'abord taillés avec ſoin, embellis d'ornemens & poſés enſuite, ſelon toutes les règles de la plus élégante architecture. C'eſt ce qu'on peut voir dans la deſcription que M. Krafft, alors Profeſſeur de Phyſique à l'Académie Impériale de Péterſbourg, & aujourd'hui à Tubinge, nous en a donnée *. Mais ce que nous ne devons pas paſſer ſous ſilence, il y avoit au devant du bâtiment ſix canons de glace faits ſur le tour, avec leurs afuts & leurs roues ſemblablement de glace, & deux mortiers à bombe, dans les mêmes proportions que ceux de fonte. *Les canons étoient de ceux de 3 livres de poudre de charge,* ce qui répond tout au moins à 6 livres de balle; mais on ne les chargeoit que d'un quarteron de poudre *qu'on mettoit dans l'ame de ces pièces d'artillerie, après quoi on y faiſoit couler un boulet d'étoupe, & même quelquefois de fer de fonte. L'épreuve d'un de ces canons fut faite un jour en préſence de toute la Cour, & l'ayant chargé comme nous venons de l'expliquer, le boulet perça une planche de deux pouces d'épaiſſeur à 60 pas d'éloignement.* Il ſeroit à deſirer pour notre ſujet, & pour en tirer quelque ſorte de comparaiſon, qu'on eût fait ſucceſſivement ces canons plus épais, juſqu'à ce qu'ils

* Traduite d'Allemand en François par M. P. L. le Roy, de la même Acad. & imprimée à St Péterſb. en 1741, avec les figures en pluſieurs Planches.

euſſent pû ſoûtenir la charge entière de 3 livres. Cependant l'effort d'un quarteron de poudre contre une glace, qui, ſelon les proportions ordinaires, ne pouvoit guère avoir que 3 ou 4 pouces d'épaiſſeur, & qui n'en a point éclaté, ne laiſſe pas de nous indiquer une très-grande force à cet égard.

Un fameux Hiſtorien du nord * parle des murailles de glace, & des autres ouvrages de défenſe, qu'on peut ſe procurer contre les aſſiégeans d'une ville en temps d'hiver, comme d'une pratique uſitée chez les nations ſeptentrionales. Quoique cet Auteur ne ſoit pas toûjours bien délicat ſur la certitude des faits qu'il rapporte, il n'y a rien dans celui-ci que de très-poſſible; le Château de glace de Péterſbourg en eſt la preuve. Des encaiſſemens remplis de glace & d'eau qui ſe lieroient bien vîte enſemble, pourroient fournir en des occaſions preſſantes, dans ces pays où la glace *eſt auſſi dure que la pierre*, & auſſi épaiſſe qu'on veut, une eſpèce de fortification très-prompte & très-ſolide.

* Olaus Magnus, *Hiſt. de Gentib. Septentrion. l. 11, cap. 25, p. 381, édit. Rom. 1555*, De mœniis glacialibus.

CHAPITRE IV.

De la force de la glace pour porter un poids, lorsqu'elle est elle-même portée par l'eau.

IL est évident que telle planche d'un bois plus léger que l'eau, & qui, n'étant soûtenue qu'en l'air par ses extrémités sur deux ou plusieurs appuis, plieroit ou se romproit sous un certain poids, ne pliera pas de même, ou ne rompra pas sous ce poids étant soûtenue par l'eau. Sa partie hors de l'eau ne peut s'y enfoncer qu'en déplaçant une quantité d'eau de même volume, & le poids de cette quantité d'eau est précisément celui que cette planche y peut porter de plus qu'en l'air, sans s'enfoncer ou sans se rompre, toutes circonstances d'ailleurs égales. Il en est de même de la glace qui flotte sur l'eau.

C'est sans doute en ce sens que quelques Auteurs ont déterminé la force de la glace, relativement à sa consistance dans les pays où ils écrivoient. Ils ont dit, par exemple, de la glace en Suède & en Danemarc, « Qu'une glace de 2 doigts d'épaisseur pou» voit porter un homme, & lui permettre » de marcher dessus; de 3 doigts, un Ca» valier armé; d'une paume & demi, ou

de 4 à 5 pouces, une troupe ; & de 3 « ou 4 paumes, une armée *(a)*. »

Dans la grande gelée de 1683, *la Société Royale ayant fait mesurer l'épaisseur de la glace de la Tamise, quand on alloit dessus en carrosse, elle ne se trouva que de 11 pouces (b).*

Mais toutes ces règles & tous ces exemples sont équivoques, & seroient souvent très-dangereux à suivre, si l'on n'y apportoit pas un certain examen.

Quand la pièce de glace n'étant pas bien étendue trouve un appui solide à ses extrémités, quand elle tient, par exemple, aux bords d'une rivière, elle doit soûtenir des poids d'autant plus grands, qu'elle arcboute presque toûjours sur ces appuis, qu'elle s'enfle vers son milieu & y devient convexe, par l'effort continuel qu'elle fait pour se dilater. Mais il n'en est pas de même d'une glace fort étendue, qui flotte, par exemple, sur la mer, ou qui peut s'y trouver rompue ou fêlée en plusieurs endroits, par l'effort, & par les secousses réitérées de l'eau qui est au dessous, selon que cet effort ou que ces secousses s'y communiquent par les vagues d'alentour, ou par les mouvemens du flux & du reflux. Ces pièces de glace isolées, séparées du total, ou moins

(a) Ol. Magnus, *ubi sup. l. 1, cap. 27,* adopté par Ge. Alb. Hamberger, *Hist. Frigoris, Phæn. 78.*

(b) Hist. de l'Acad. 1709, *p. 10.*

liées entr'elles à cauſe des fentes qui en interrompent la continuité, ne peuvent alors ſoûtenir les poids dont elles ſont chargées, que par l'excès de leur légèreté ou de leur volume par rapport à l'eau qui les ſoûtient, quelle que ſoit d'ailleurs leur épaiſſeur, & leur réſiſtance à la rupture.

Je crois qu'en général de la glace d'un pied d'épaiſſeur, indéfiniment étendue & ſans fêlure, porteroit une armée; comme on le peut juger par l'exemple de la Tamiſe; tandis qu'un glaçon flottant de la même épaiſſeur & de 70 toiſes quarrées ou 2520 pieds quarrés de ſurface, ne ſoûtiendroit pas 100 hommes, peſant chacun 160 livres & en tout 16000 livres; quoiqu'ils y fuſſent diſtribués de la manière la plus avantageuſe, & que chacun y pût occuper plus de 25 pieds quarrés. La pièce de glace s'enfonceroit infailliblement ſous eux, ſon volume étant ſuppoſé être à celui de l'eau en raiſon de 12 à 11 *.

C'eſt, dis-je, à cette circonſtance de la continuité, ou de la non continuité de la

* Car en ce cas la partie excédante de la glace ſur l'eau ne ſeroit que de 1 pouce. Or on trouvera que 1 pouce d'épaiſſeur ſur 70 toiſes quarrées ou 2520 pieds quarrés ne donne que 210 pieds cubes. Le pied cube d'eau de mer pèſe ordinairement 72 livres, qui étant multipliées par 210 ne font en tout que 15120 livres, & ce poids eſt inférieur de 880 livres à celui des 100 hommes.

glace, qu'il faut principalement faire attention. Ce n'eſt guère par l'épaiſſeur qu'elle manque, dans les pays & dans les occaſions où l'on entreprend de ces expéditions périlleuſes. Il eſt du moins fort aiſé de s'aſſurer de cette épaiſſeur. Lorſque le Roy de Suède, Charles Guſtave, paſſa avec toute ſon armée & ſon artillerie, de Fionie en Zélande *, ſur les glaces du détroit de la mer Baltique qui ſépare ces deux iſles, & qui peut avoir 5 à 6 lieues de largeur, on avoit ſoigneuſement ſondé ces glaces; l'épaiſſeur en avoit été trouvée plus que ſuffiſante pour ſoûtenir un tel poids ſans ſe rompre, & elles le ſoûtinrent en effet du côté de ſa droite; mais il y a toute apparence qu'elles étoient déjà rompues ou fêlées vers ſa gauche, & que les glaçons n'en avoient pas l'étendue néceſſaire pour déplacer par leur partie excédante ſur l'eau le volume de liquide qui devoit faire équilibre aux poids, ou ſurmonter même ces poids. Et c'eſt-là auſſi que périrent une centaine de Cavaliers de ſon armée.

* En 1658. Voy. Sam. Lib. Bar. de Pufendorf, *De Rebus à Car. Guſt. Succiæ R. geſtis, l. 5.*

CHAPITRE V.

De la froideur de la Glace.

AVEC l'idée que le mot de glace réveille dans l'esprit, comme de tout ce qu'il y a de plus froid dans la Nature, auroit-on cru qu'il y pouvoit avoir de l'eau non glacée de 4 à 5, de 7 à 8 degrés plus froide, & apparemment de beaucoup plus, par rapport à la glace qui va s'en former? C'est cependant ce qu'on a vû dans la Section précédente.

La glace dans sa formation semble donc exiger un certain degré de froid qui lui est propre, & qui survient à l'eau dans le moment de trouble que nous y avons remarqué, en décrivant ses commencemens, & l'exiger de manière, que si l'eau se trouve alors plus froide, elle doit diminuer de froideur dans l'instant de sa transformation en glace. En un mot, la glace qui commence à fondre, & l'eau qui commence à geler ont le même degré de froideur. C'est ce que plusieurs Physiciens modernes ont parfaitement constaté, & en différens pays. Le terme de la congélation de l'eau est devenu un point fixe & de comparaison soigneusement marqué sur la graduation de la plûpart des thermomètres qu'on a faits dans ce siècle-ci.

On ne peut douter cependant, que la glace, ainſi que les autres ſolides, n'acquière dans un milieu plus froid, ou par le contact des autres corps plus froids, à peu près le même degré de froideur qu'ont actuellement ceux-ci. Car ſans compter ce que nous avons rapporté des glaces du Groenland & du Spitzberg, qui paroît ſuppoſer un très-grand refroidiſſement, on ne peut douter que de la glace entourée du mélange de ſel & de glace, dont il ſera parlé dans la cinquième Section, n'en reçût un degré de froid très-ſupérieur à celui de ſa froideur initiale. Je ne prétends pas que tous les corps prennent également, ni en temps égal, le degré de froideur ou de chaleur du milieu ou des autres corps qui les touchent. Il y a ſans doute bien de la différence, ſur-tout dans les fluides, & cela dans les uns & dans les autres, à raiſon de leur denſité, de la contexture de leurs parties, & de la manière dont le fluide éthéré y circule. La glace pourroit donc bien à cet égard être ſuſceptible de plus & de moins, par rapport aux corps qui l'environnent; mais je dis, qu'en qualité de ſolide dont les parties ſont ſenſiblement en repos entr'elles, la glace prend bien-tôt à raiſon de ſa maſſe la température de ceux-ci, & qu'en général ces différences diſparoiſſent par ſucceſſion de temps & par la continuité du contact.

Quant à la vérification & à la mesure exacte de la froideur de la glace dans ses différens états, il ne faut point l'espérer jusqu'à ce qu'on ait trouvé un thermomètre propre à mesurer exactement la température des solides, sans les fondre ni les pulvériser; car il est difficile, du moins dans nos climats, de briser & pulvériser la glace, sans qu'elle ne commence à fondre. J'ai quelquefois appliqué à la superficie de la glace, un thermomètre plat par son fond ou par un des côtés de la boule, & tout ce que j'en ai retiré de plus sûr, c'est que la glace augmente assez uniformément de froideur pendant que la gelée dure dans les mêmes circonstances & jusqu'au dégel exclusivement. Mais je ne saurois encore me fier beaucoup à cette application imparfaite, & qui ne peut l'être également en différens cas.

La froideur de la glace & la congélation ne gagnent point aussi avant dans les terres qu'on pourroit se l'imaginer. En France, en Allemagne, & dans la plûpart des pays situés au milieu de l'Europe, la glace pendant les plus grandes gelées, ne pénètre guère à plus de 2 pieds de profondeur; en Moscovie & dans les pays septentrionaux, en deçà du cercle polaire, elle va à 6, & jusqu'à 10 pieds *, selon la nature

* Ge. Alb. Hamberger, *Hist. Frigoris, Phæn.* 76.

du terrein : au delà du cercle polaire j'ignore qu'on en ait fixé les bornes. Mais la communication de la froideur de la glace à l'air & à l'atmosphère est beaucoup plus prompte, & s'étend apparemment beaucoup plus loin. Ceux qui voyagent dans les mers du nord sont bien-tôt avertis par-là de l'approche des grands glaçons qu'on y trouve, même au milieu de l'été ; *la température de l'air change dans l'instant, & de chaud qu'il étoit devient extrêmement froid (a).* Cet avertissement ne leur est pas inutile.

CHAPITRE VI.

Du goût de la Glace.

JE ne trouve ni par mon goût, ni par aucune expérience certaine, que la congélation fasse rien perdre à l'eau, ni qu'elle y ajoûte quelque chose : je veux dire, que l'eau me paroît avoir le même goût après avoir été gelée, qu'elle avoit avant que de se geler. Il y a cependant des Physiciens *(b)*

(a) Voyage de la Baie de Hudson, *tome 2, p. 33.*

(b) Athan. Kircher, *Mund. Subterr. lib. 3, Sect. 3, cap. 4, tom. 1, p. 166.* Borrichius, dans les observations qu'il a faites en Dannemarc, *Act. Hafniens. vol. 1. observ. 64, p. 144.* Thom. Bartholin, *de Nivis usu medico, cap. 6, p. 42.*

qui ont cru que l'eau de la mer devenoit douce en se gelant, & qui, sans trop s'embarrasser de la certitude du phénomène, ne se sont appliqués qu'à en chercher la cause. Mais ce n'est rien moins qu'une erreur de fait. Ils n'avoient apparemment goûté que de la partie extérieure des glaces, ou de quelques glaces minces qui s'étoient formées auprès des côtes; car il est vrai que celles-là ont le même goût que la glace des rivières. Et cela n'est pas étonnant, puisque les rivières qui se rendent à la mer fournissent une grande quantité d'eau douce auprès des côtes, laquelle par sa légèreté, surnage quelquefois assez long-temps & assez loin sur l'eau salée, avant que de se charger des mêmes sels. Si ces Auteurs avoient pris de la partie de ces glaces qui est sous l'eau, & du dessous de ces glaçons épais, qui flottent dans les mers du Groenland & de la nouvelle Zemble, ils auroient trouvé que *la glace en étoit aussi salée que la mer même* *. C'est ce qu'on peut éprouver par-tout, en faisant geler artificiellement de l'eau salée, ou de l'eau de mer qu'on aura prise loin des côtes. Il arrive seulement pour l'ordinaire que la superficie ou les parties extérieures d'un pareil glaçon sont

* Frédér. Martens, *ubi sup.* & Supplément aux Voyages du Capitaine Wood & de Frédér. Martens; traduit de l'Anglois, *p. 297* du Recueil, tome 2.

peu

peu salées ou tout-à-fait douces, par cette cause, & par la sécrétion qui se fait alors de l'eau douce & de l'eau salée, comme nous l'avons remarqué des parties spiritueuses du vin exposé au grand froid. Aussi trouve-t-on souvent sur ces immenses glaçons qui flottent dans les mers du nord, pendant l'été, des espèces de lacs d'eau douce, qui se gèlent & se dégèlent quelquefois alternativement selon la température des jours & des nuits *, & dont les navigateurs ne manquent pas de profiter, pour rafraîchir leurs équipages & remplir leurs tonneaux vuides.

J'ai vû au contraire des personnes qui pensoient que la glace étoit moins douce que l'eau dont elle avoit été formée, en vertu, disoit-on, de je ne sais quelles parties *frigorifiques* & salines qui s'introduisent dans l'eau pendant sa congélation ou qui l'occasionnent, & qui en sortent dès qu'elle redevient liquide. Autre illusion, dont la cause n'est pas difficile à imaginer, le piquant de la glace, ou de l'eau très-froide étant visiblement l'effet de la contraction subite qu'elle produit sur les fibres de la langue & du palais. Il en est de même de la sensation de chaleur ou de brûlure, qu'excite un morceau de glace qu'on soûtient quelque temps sur la paume de la main:

* Voyage de la Baie de Hudson, *tome 2, p. 35.*

le reſſerrement & la criſpation d'un nombre de fibres & de nerfs y produit ſur les fibres voiſines & tout alentour un tiraillement qui tend à les diviſer ou à les rompre, comme feroit à peu près un inſtrument tranchant, ou le feu. Le ſentiment qui en réſulte n'en diffère pas beaucoup, & un aveugle pourroit s'y tromper.

C'eſt à ce reſſerrement de parties, & aux effets qu'il doit produire ſur toute l'économie animale, plûtôt qu'à aucune vertu interne de la glace, différente de celles de l'eau ordinaire, que j'attribuerois les guériſons merveilleuſes que la glace opéroit entre les mains du Capucin de Malthe; car il en frottoit quelquefois tout le corps de ſes malades. On en peut voir les ſuites & le détail dans le ſecond volume des *Vertus médicinales de l'eau commune;* édition de Paris, 1730.

A l'égard des liqueurs ſpiritueuſes & odorantes moins homogènes dans leur compoſition que l'eau, je ne doute pas que la congélation ne puiſſe cauſer de grands changemens à leur goût, à leur odeur, à leur fluidité même & à leurs autres qualités ſenſibles, en déſuniſſant ou en aſſemblant des parties hétérogènes qui étoient auparavant unies ou ſéparées, & en altérant ainſi toute leur contexture. M. Geoffroy a obſervé que l'eau de fleur d'orange qui ſent l'empyreume perd

cette odeur par la gelée, & en prend une très-agréable *.

CHAPITRE VII.

De la tranſparence & de la couleur de la Glace.

LA glace eſt ordinairement moins tranſparente & plus blancheâtre que l'eau dont elle eſt formée. Ces deux qualités viennent vrai-ſemblablement du même principe, ſavoir, du dérangement des parties dont il a été parlé ci-deſſus, & des bulles d'air enfermées dans la glace. Lorſqu'on regarde certains glaçons avec un microſcope, on y voit, outre les petites bulles d'air, une infinité de fêlures & d'éclats qui réfléchiſſent diverſement la lumière, ſelon la ſituation où ils ſe trouvent. Ce ſont ces réflexions de la lumière, cauſées par une prodigieuſe quantité de ſurfaces & de petites lames d'eau glacée, différemment inclinées, qui produiſent la blancheur de la neige. Auſſi fait-on de la neige artificielle par le moyen d'une eau long-temps agitée & réduite en écume dans quelque tube de verre ou dans une bouteille oblongue qu'on expoſe ſur le champ à la gelée.

C'eſt par la même raiſon que le verre pilé

* Hiſt de l'Acad. 1713, *p.* 39.

devient une poudre blanche, qui n'eſt plus tranſparente à la vûe ſimple, quoiqu'avec le microſcope ou dans l'eau chaque particule de neige ou de verre ne diffère en rien de la glace ou du verre ordinaire. Il en eſt encore de même à peu près du marbre noir réduit en poudre, & de la plûpart des autres corps. Car ſelon la penſée d'Iſ. Voſſius *(a)*, & comme l'a plus particulièrement montré M. Newton *(b)*, les petites parties de tous les corps ſont naturellement tranſparentes, & leur opacité ne vient que de la multitude des réflexions de ces parties. C'eſt pourquoi la glace de l'eau qui a été purgée d'air, & qu'on a fait bouillir & geler alternativement deux ou trois fois, eſt plus tranſparente & d'une couleur plus foncée.

Par une ſemblable raiſon la partie extérieure de la glace eſt preſque toûjours moins tranſparente, plus blancheâtre & plus terne que le dedans. Car outre que pendant la congélation, les bulles d'air qui s'échappent de l'eau vers ſa ſuperficie y produiſent mille petites inégalités, cette ſuperficie n'eſt pas plûtôt gelée, que l'effort continuel des particules inſenſibles de glace, pour s'incliner les unes aux autres ſous l'angle de 60 degrés, comme il a été remarqué ci-deſſus *(c)*, s'y

(a) De naturâ & propr. Lucis, ch. 23.
(b) Opt. lib. 2, part. 3, Prop. 2.
(c) Sect. I, Chap. VIII.

exerce beaucoup plus aiſément que dans l'intérieur. Elles ſe redreſſent ou s'évaporent, ce qui fait autant de petits vuides & de nouvelles ſurfaces différemment poſées, d'où la lumière ſe réfléchit diverſement. Ainſi pour bien voir la tranſparence de la glace, il faut en enlever cette croûte de ſa ſurface & de ſes fractures, & la faire un peu fondre dans de l'eau moins froide, ou attendre qu'elle ſoit fondue dans un air moins froid. Et voilà pourquoi les glaçons fondus en partie qui nagent dans un ſceau où l'on fait rafraîchir des liqueurs, y ont un ſi beau poli & tant de tranſparence, quoiqu'ils fuſſent tout ternés & tout blancheâtres lorſqu'ils y avoient été apportés. On ſe convaincra encore aiſément de ce que je viens de dire, ſi l'on compare la ſuperficie de la glace nouvellement formée avec celle d'une glace de pluſieurs heures ou de quelques jours, ou ſimplement la ſuperficie de celle-ci avec la ſuperficie de ſes caſſures. Plus il y aura de temps qu'elle eſt formée, plus ſa ſurface aura eu celui de ſe hériſſer de particules qui s'y redreſſent, & qui en diminuent la tranſparence.

Les glaces du Groenland & de la plûpart des mers du nord, ſont fort différentes des nôtres, & par la couleur, & par le moins de tranſparence. Elles* *ſont d'un très-beau*

* Fréd. Martens, *ubi ſup.*

bleu, un peu tirant ſur le verd, ſemblable à la couleur du vitriol de Chypre, & ſeulement *un peu plus tranſparentes que le vitriol, & moins nettes que la glace de notre climat, à travers laquelle on peut preſque voir.* Que ce ſoit d'imagination ou par ouï-dire, Virgile ne nous peint pas autrement les glaces du nord & les zones polaires;

Cæruleâ Glacie concretæ atque imbribus atris *.

Cette différence des glaces du Groenland avec les nôtres n'eſt peut-être qu'apparente, & pourroit bien venir en partie de la condenſation & de l'épaiſſeur de l'air du climat: car l'air étant bleu de ſa nature, comme on le juge par la couleur du ciel & par la teinte que prennent les objets fort éloignés, il eſt évident que plus on verra de parties d'air ſous un égal volume, plus ſa couleur naturelle deviendra ſenſible. Or une atmoſphère d'un bleu plus foncé qui ſe réfléchit ſur les glaces des mers, ou à travers laquelle ſe filtrent des rayons de lumière plus bleuâtres, doit les charger d'autant plus de cette couleur. Mais je doute que cette raiſon ſoit ſuffiſante pour expliquer ce bleu de vitriol & verdâtre dont parle notre Voyageur. Si ce qu'il en dit eſt exact, comme il y a lieu de le croire, il faut avoir recours, ce me ſemble, à quelque choſe de plus prochain &

* Georg. *lib. 1.*

de plus réel, comme, par exemple, à la qualité du fond du baſſin de ces mers, & des matières qui s'en détachent & qui ſe mêlent avec leurs eaux, ou enfin à la couleur propre de ces eaux mêmes. Sur quoi nous n'avons rien d'aſſez poſitif pour pouſſer plus loin nos conjectures. Indépendamment de tout cela, la glace des liqueurs ſalées eſt plus foncée & plus opaque que celle d'eau pure. Or nous avons vû dans le chapitre précédent, que la glace de ces mers étoit *ſalée comme la mer même.*

Les glaces des mers du nord ont encore ceci de particulier, que lorſque le temps eſt pluvieux *, le bleu de la partie ſupérieure qui eſt expoſée à l'air devient plus pâle, & que vûes de deſſous l'eau elles paroiſſent vertes.

L'eau douce étant moins bleuâtre, & en même temps plus légère que l'eau ſalée de la mer, il doit ſouvent arriver, ſur-tout près des côtes où aboutiſſent les rivières, que la partie ſupérieure des glaces ſoit moins colorée que l'inférieure. Le deſſus du glaçon doit auſſi moins participer de la couleur du deſſous, lorſque le temps eſt ſombre, & que le peu de lumière qui eſt répandu dans l'eau & dans l'air en favoriſe moins la réfraction.

Mais d'où vient la couleur verdâtre de la partie qui eſt ſous l'eau ? Elle peut dépendre de bien des circonſtances. L'eau de

* Fréd. Martens, *ubi ſup.*

la mer, comme la teinture du bois néphrétique & plusieurs autres liquides, réfléchit quelquefois des rayons de lumière d'une couleur, & en rompt ou en laisse passer d'autres d'une couleur différente. Cette propriété de réfléchir certains rayons & de donner passage à d'autres n'est pas particulière aux liquides, elle se trouve en quelques corps durs; l'or même, le plus dense & le plus pesant de tous les métaux, qui ne réfléchit que les rayons de couleur jaune, en laisse passer au travers de ses pores de bleus & de verds, comme on l'éprouve lorsqu'après l'avoir réduit en feuilles très-minces on le place entre l'œil & la lumière *(a)*. De même l'eau de la mer qui réfléchit d'ordinaire par sa superficie la couleur bleue, rompt & réfléchit souvent dans l'intérieur la couleur verte, & nous avons là-dessus une expérience curieuse qu'on trouve rapportée dans l'Optique de M. Newton *(b)*. *M. Halley*, dit-il, *étant descendu au fond de la mer dans une cloche en un temps fort clair & fort serein, remarqua que les rayons du Soleil qui passoient par une petite fenêtre vitrée de la cloche, & qui donnoient sur une de ses mains, après avoir traversé plusieurs piques d'eau qu'il avoit sur la tête, lui faisoient paroître la partie supérieure de la main d'un rouge couleur de rose, pendant*

(a) Newton, *Opt. part. II, Prop. X.*
(b) Ibid.

que le côté oppoſé, ou la partie inférieure, paroiſſoit teinte de verd par la lumière que les eaux de deſſous y réfléchiſſoient.

Peut-être n'en faudroit il pas davantage pour expliquer la couleur verte du deſſous des glaces du nord vû à travers l'eau ; mais les Auteurs de qui nous tenons ce fait *, y ajoûtent cette circonſtance, que les glaces paroiſſent telles dans les temps pluvieux ; & auſſi qu'il y a des temps où les eaux de ces mers paroiſſent jaunes à ceux qui s'y plongent. Or la glace étant bleue, elle doit paroître verte à ceux qui la regardent au travers d'une eau jaune ; puiſque, comme on ſait, le bleu & le jaune mêlés enſemble produiſent du verd.

Mais cette variété de couleurs des glaces du nord n'eſt rien en comparaiſon de celle qu'on aperçoit lorſqu'on approche des côtes du Groenland & de la nouvelle Zemble, & qu'on jette les yeux ſur les montagnes voiſines couvertes de neige & de glace. La gelée & le dégel à quoi ces montagnes ſont alternativement expoſées dans la ſaiſon où l'on voyage dans ces pays-là, c'eſt-à-dire, dans l'été, la fonte des glaces & les pluies y ont creuſé des ravins qui paroiſſent comme des bandes noires couſues depuis leur ſommet juſqu'à leur pied ; à côté ſe trouvent ſouvent de grandes traînées d'une neige qui n'a point

* Les mêmes que ci-deſſus, *Recueil des voyages au Nord.*

fondu, & dont la blancheur eſt relevée par ce noir; tout auprès, des glaces minces & claires ne laiſſent voir que le verd des buiſſons qu'elles couvrent; dans un enfoncement elles ſont bleues, parce qu'elles ſont plus épaiſſes; un peu plus loin réduites en pouſſière & répandues ſur les feuilles des arbuſtes, elles rompent & réfléchiſſent des rayons de lumière avec toutes les nuances de l'arc-en-ciel; ou quelquefois auſſi polies que des miroirs, elles renvoient à l'œil autant d'images d'un Soleil languiſſant qui ne quitte point l'horizon, & fourniſſent par-là l'explication la plus ſenſible qu'on puiſſe donner de nos Parhélies *(a)*.

CHAPITRE VIII.

De la réfraction de la Glace.

IL eſt difficile de ſavoir la véritable réfraction de la glace ordinaire, parce que les groſſes bulles d'air qui s'y trouvent mêlées en grande quantité empêchent de voir au travers; mais on a obſervé *(b)* que la glace, lorſqu'elle n'a pas beaucoup de ces groſſes bulles, & qu'elle eſt aſſez tranſparente pour

(a) C'eſt ce coup d'œil qu'on a voulu repréſenter dans la planche du frontiſpice de ce livre.

(b) M. de la Hire, *Mém. de l'Acad. 1693, Tome X, p. 252.*

en faire l'expérience, donne une réfraction un peu moindre que celle de l'eau dont elle eſt formée; c'eſt-à-dire, que ſi un rayon de lumière qui tombe très-obliquement de l'air ſur l'eau, ſe détourne de ſa ſurface & vers la perpendiculaire d'une quantité ou d'un angle de 41 degrés 25 minutes, qui eſt la meſure de la réfraction ordinaire de l'eau, un rayon qui tombera pareillement ſur la glace, ne ſe détournera pas tout-à-fait tant, ou ne s'approchera de la perpendiculaire que d'un angle, par exemple, de 39 ou 40 degrés.

Ce phénomène eſt tout-à-fait conforme à la théorie générale des réfractions : car il paroît par un grand nombre d'expériences très-exactes, que preſque tous les corps donnent une réfraction proportionnée à leur peſanteur; & cela eſt ſi vrai à l'égard de l'eau, que la même eau ne donne pas toûjours la même réfraction; chaude, elle en donne moins que froide, parce qu'alors elle eſt moins peſante à proportion de ſon volume. Or après ce qui a été prouvé de la légèreté de la glace, ou de ſon volume par rapport à l'eau dont elle eſt formée, il eſt clair qu'elle doit donner une réfraction moindre que celle de l'eau.

La quantité de la réfraction de la glace priſe en un autre ſens, c'eſt-à-dire, en tant qu'elle laiſſe paſſer plus ou moins de rayons rompus, eſt proportionnelle à ſa tranſ-

parence. Ainſi lorſqu'on lui a donné la figure ſphérique, par exemple, au moyen de quelque vaiſſeau concave où elle a été formée, & qu'on en a poli la ſuperficie en y jetant deſſus un peu d'eau tiède, elle raſſemble les rayons du Soleil preſque en auſſi grande quantité, & brûle avec preſque autant de force que les meilleures loupes de verre. J'en ai fait l'expérience avec de la glace d'une eau que j'avois fait bouillir & geler alternativement deux ou trois fois pour en mieux évacuer l'air; & l'ayant réduite en une lentille convexe des deux côtés, dont le diſque avoit 4 pouces de diamètre, & faiſoit partie d'une ſphère de $3\frac{1}{2}$ pouces de rayon, j'en ai allumé de la poudre à canon au Soleil du mois de Janvier.

Cette expérience, qui eſt fort connue aujourd'hui, ne pourroit paroître merveilleuſe par l'oppoſition de la glace & du feu, qu'à ceux qui ne feroient point attention que ce n'eſt nullement la qualité de la matière, en tant que plus ou moins chaude ou froide, qui augmente ou qui diminue la force des rayons ſolaires qu'elle laiſſe paſſer à travers pour brûler les corps combuſtibles; mais ſeulement ſa forme extérieure, plus ou moins propre à raſſembler ces rayons. C'eſt ainſi que les plantes ſont quelquefois brûlées par l'eau même, & que leurs feuilles picotées de points noirs en indiquent la brûlure, lorſ-

qu'après la gelée ou un brouillard épais le Soleil vient à donner obliquement sur les gouttes sphériques dont elles demeurent couvertes: car ce sont autant de petits miroirs ardens par réfraction, dont le foyer n'étant qu'à une très-petite distance de leur surface *(a)*, ne peut manquer de porter en plusieurs endroits assez précisément sur la plante pour l'y brûler.

CHAPITRE IX.

Des figures de la Glace, & de la Palingénésie.

L'EAU prend d'ordinaire en se glaçant la figure du vaisseau où elle est contenue; mais il se trouve quelquefois dans les rivières & dans les mers des glaçons façonnés d'une manière très-singulière, & qui approchent beaucoup de certains ouvrages de l'art. Il seroit, je crois, inutile d'en rechercher la cause; elle dépend presque toûjours d'un enchaînement de circonstances qu'on ignore, & qu'il n'est pas possible de déterminer positivement, quoiqu'on les puisse conjecturer en général. L'habile & exact Navigateur *(b)* que j'ai cité plusieurs fois dans cet ouvrage

(a) Au $\frac{1}{4}$ à peu près de leur diamètre.

(b) Fréd. Martens, *ubi sup.*

dit avoir vû en ce genre dans la mer glaciale *un petit chef-d'œuvre d'architecture ; c'étoit une pièce de glace qui reſſembloit à une égliſe .... il y avoit des piliers, des fenêtres en voûte & des portes régulières ; mais les portes & les fenêtres paroiſſoient comme remplies de chandelles de glace, & dedans on y voyoit un fort beau bleu. Cette pièce de glace étoit plus grande qu'un vaiſſeau, & un peu plus haute que la poupe.* Il remarqua auſſi vers le Spitzberg *de la glace qui étoit toute en boucle, & qui reſſembloit tout-à-fait à du ſucre candi*, & pluſieurs autres figures ſemblables, dont la principale cauſe ne vient, à mon avis, que des filets d'eau douce qui ne ſont pas encore bien mêlés avec l'eau de la mer, qui ſe gèlent les premiers, & qui ſont les derniers à ſe fondre.

Outre ces ſortes de figures, il y en a d'autres qui paroiſſent légèrement ciſelées ſur la ſuperficie de la glace, ou comme les premiers traits d'un deſſein dont j'ai fait le détail & expliqué la génération dans la première Section. J'y reviens à préſent pour dire un mot de l'erreur où ces figures ont jeté quelques perſonnes qui n'ont pas fait attention à la cauſe qui les pouvoit produire.

Il y a eu des Chymiſtes qui ont cru qu'en échauffant un peu les cendres d'une plante ou d'un animal ſelon certaines règles & avec certaines précautions, ces cendres devoient s'enfler & s'élever en une fumée tout-à-fait

ſemblable par la figure & même par la couleur à la plante ou à l'animal. C'eſt à cette eſpèce de réſurrection ou de nouvelle naiſſance qu'on donna d'abord le nom de *Palingénéſie :* enſuite on ſe perſuada qu'en faiſant geler une leſſive des cendres d'une plante on verroit la figure, l'image, ou, comme parlent ces Auteurs, *l'idée* de cette plante fidèlement tracée ſur la ſuperficie de la glace ; autre palingénéſie qui n'a pas moins fait de bruit que la première.

Le fameux Boyle rapporte qu'ayant fait diſſoudre dans l'eau un peu de verd-de-gris, qui contient beaucoup de parties ſalines du marc de raiſin, dont on ſe ſert pour corroder le cuivre, & ayant fait geler cette eau avec de la neige & du ſel, il avoit vû, non ſans étonnement, de petites figures de vigne ſur la ſuperficie de la glace.

Le Chevalier Digby dit qu'ayant fait une pareille épreuve ſur de la leſſive de cendres d'orties, & conformément aux inſtructions du P. Kircher *(a),* il paroiſſoit ſur la glace quantité de figures d'orties. J'omets cent autres hiſtoires de cette nature, dont on peut voir le détail dans un Auteur plus moderne *(b)*

(a) On trouve ce qu'en a penſé cet Auteur dans ſon *Mundus Subterraneus, lib. 12. Sect. 4, cap. 5.*

(b) Curioſités de la Nature & de l'Art ſur la végétation, l'agriculture, &c. *nouv. édit. Paris, 1711,* par M. de Vallemont

qui a pris fort à cœur la défenſe de la palingénéſie, & de qui j'emprunte ces deux témoignages, comme les plus authentiques de tous ceux qu'il rapporte pour l'établir.

Les noms de Mrs Boyle & Digby m'obligent à ajoûter ici deux ou trois réflexions ſur cette matière; car du reſte je ne penſe pas qu'il y ait beaucoup de témérité à ſoupçonner que la première formation de la glace, telle que je l'ai expliquée, & ſans aucun rapport à la palingénéſie, ait été l'unique ſource de tout ce qu'on en raconte de merveilleux. J'obſerve donc,

1.° Que les figures de la ſuperficie de la glace ſont & plus fréquentes & plus viſibles, lorſque l'eau n'eſt pas pure, & ſur-tout lorſqu'on y a diſſous quelque ſel, tel que celui qui eſt contenu dans les cendres des plantes. Preſque toutes les leſſives, l'urine, du limon ſeulement, & en général tout ce qui étant mêlé avec l'eau retarde ſa congélation, produit ordinairement des figures bizarres & ſingulières. Dans quelques-unes de mes expériences, où il ne s'agiſſoit nullement du ſel des plantes, le haſard m'a fait rencontrer des figures qui auroient enchanté les partiſans de la palingénéſie.

2.° Les végétations métalliques ſi connues dans la Chymie, produiſent quelquefois en relief des figures auſſi parfaites en leur genre qu'aucune de celles qu'on ait vûes ſur la

glace. Ce qu'on appelle *l'Arbre de Diane* ou *l'Arbre Philoſophique* eſt, comme on ſait, un argent amalgamé qui s'élève dans une bouteille en forme de petit arbriſſeau avec ſes feuilles & ſes fruits; on fait quelque choſe de ſemblable avec du fer & avec pluſieurs autres matières que le haſard a fournies pluſieurs fois aux Chymiſtes *. Je ne crois pas cependant que perſonne penſe que l'argent & le fer, ou ces autres matières, prennent ces figures, pour avoir été autrefois ces mêmes arbres qu'ils repréſentent.

3.° Enfin la plûpart des Auteurs qui diſent avoir fait l'expérience de la Palingénéſie, & ſur-tout les Auteurs que j'ai nommés, n'ont pû de leur aveu la rencontrer qu'une fois après bien des tentatives inutiles; &, ce qui eſt à remarquer, ni la même leſſive, ni une leſſive nouvellement préparée, ne leur ont redonné le même phénomène. Auſſi ont-ils plûtôt regardé ce qu'ils en avoient vû comme un effet du haſard, que comme une ſuite néceſſaire de la prétendue inclination à ſe rejoindre, attribuée aux parties organiques des corps après leur déſunion; & je me trompe fort, ſi ce n'eſt-là ce que vouloit dire le Chevalier Digby, d'ailleurs aſſez enclin & aſſez intéreſſé à ſoûtenir les effets

* Voy. Mém. de l'Acad. 1692, *T. X, pp. 171 & 405.* 1707, *pp. 299,* & 1710, *p. 426, 435, &c.*

ſympathiques, quand il ajoûte, après l'expérience rapportée ci-deſſus, *je prenois grand plaiſir à contempler ce jeu de la nature.* M. Boyle va plus loin; il craint que l'imagination de ceux qui diſent avoir vû de pareilles figures ſur la glace, en conſéquence de la palingénéſie, n'ait diſpoſé leurs yeux en faveur du phénomène, & il rapporte tous ces faits dans un article de ſes *Eſſais phyſiologiques,* où il traite des expériences qui ne réuſſiſſent point *.

CHAPITRE X.

De l'évaporation de la Glace.

NOUS avons remarqué au commencement de cette Diſſertation, que l'évaporation des liquides devoit être en raiſon compoſée inverſe de leurs peſanteurs ſpécifiques, & directe de leurs fluidités, de leur mouvement inteſtin & des ſurfaces qu'ils préſentent à l'air libre. De ces quatre circonſtances il n'y a guère que la première, la ſeconde & la quatrième qui ſoient appliquables aux ſolides; ſavoir, la peſanteur ſpécifique de leurs parties, la dureté & la ténacité, au lieu de la fluidité, & la grandeur des ſurfaces préſentées à l'air.

* *Tentam. Phyſ.* De experimentis quæ non ſuccedunt.

Il y a grande apparence que tous les solides s'évaporent plus ou moins, & perdent par-là une partie de leur substance: le choc de l'air en emporte tôt ou tard quelques particules imperceptibles. Il en est peu du moins qu'on puisse excepter de cette loi générale. La déperdition de matière se décèle même dans quelques-uns de ceux qui après bien des années conservent sensiblement le même poids, tels que le musc & l'assa-fœtida; car on ne peut douter que l'odeur qui s'en exhale continuellement, & qui remplit de très-grands espaces, ne consiste en des corpuscules qui faisoient partie de ces corps. Je ne voudrois pas en exclurre ce qu'une matière subtile ou éthérée quelconque qui circule dans leurs pores en entraîne au dehors, & qu'ensuite l'air emporte & répand bien loin. Mais cela revient au même que ce qu'il enlève de leur superficie par le choc, & constitue le total de leur évaporation, comme nous l'avons considérée dans les liquides. Cependant il est certain en général, que les solides se dissipent moins que les liquides, par la circonstance, que l'évaporation de ces derniers est d'autant moindre, toutes choses d'ailleurs égales, qu'ils ont moins de fluidité, & que la solidité, ou ce que nous appellons la dureté, n'est à la rigueur qu'une moindre mollesse, & la mollesse qu'une moindre fluidité.

Il eſt donc aſſez étonnant que la glace s'évapore autant ou plus que l'eau dont elle a été formée.

Pour voir bien vîte l'évaporation de la glace, il ne faut qu'en expoſer à l'air quelques morceaux pointus & tranchans; on trouvera bien-tôt leurs pointes & leurs arêtes émouſſées, & leur poids ſenſiblement diminué.

L'évaporation de la glace eſt d'autant plus grande que le froid eſt plus violent. En 1716, où il y eut des jours dont le froid fut auſſi exceſſif que dans l'hiver de 1709, je trouvai quelquefois la glace expoſée à l'air & au vent de nord diminuée de plus de la cinquième partie de ſon poids en vingt-quatre heures. Selon M. Gauteron * qui en fit des expériences à Montpellier en 1709, l'évaporation de la glace alla une fois juſqu'au quart de ſon poids en un pareil intervalle, ſavoir, à 6 grains par heure, ſur une once d'eau expoſée à la gelée. Ce qui fait, ſelon lui, une évaporation plus

* Médecin, Secrétaire de la Société Royale des Sciences de Montpellier. Ses expériences furent envoyées à l'Académie des Sciences, & imprimées à la fin du volume des Mémoires de 1709. On trouvera dans l'Hiſt. de l'Acad. de 1741, p. 17, un phénomène qui a quelque rapport à celui-ci; ſavoir, que de la terre qui eſt imbibée d'eau, & qui fait en tout une maſſe plus ſolide & plus peſante que l'eau, fournit une évaporation plus abondante que l'eau toute pure; d'après les expériences de M. Bazin.

prompte que celle de l'eau dans un temps moyen entre le chaud & le froid.

Pour donner raiſon de ce phénomène, je remarque que la glace ayant preſque toûjours des rides, des traits, des inégalités & une boſſe ſur ſa ſuperficie, elle a par-là plus de ſurface que l'eau dont elle eſt formée. D'ailleurs l'eau qu'on expoſe à la gelée dans des verres, des gobelets & ſemblables vaiſſeaux, qui ſont ſouvent plus larges vers l'ouverture que par le bas, s'en détache ordinairement en peu d'heures, par l'expanſion des bulles d'air qui y ſont renfermées, & la glace monte un peu, en laiſſant tout autour entr'elle & le vaiſſeau, un vuide, qui s'agrandit toûjours de plus en plus; autre circonſtance, qui fait que la glace préſente plus de parties à l'air; ainſi, quant à ſa ſurface, l'eau doit perdre plus de parties par l'évaporation, étant gelée, qu'étant liquide.

Il ne reſte donc que la dureté de la glace, qui puiſſe rendre ſon évaporation plus difficile que celle de l'eau; & je ne doute pas qu'en effet les petits flocons d'air qui heurtent contre la glace, n'y trouvent plus de réſiſtance que contre l'eau; ils ont ſans doute plus de peine à en détacher des particules, leur choc eſt ſouvent inutile; mais auſſi lorſque l'air fait tant que d'emporter quelques pièces de deſſus la glace, elles ſont

apparemment plus groſſes que les parties qu'il emporte de l'eau, en conſéquence de ce plus grand effort. Il doit auſſi ordinairement entraîner pluſieurs petits éclats avec la particule de glace, contre laquelle il a frappé, & ébranler toutes celles des environs. En quoi il ſe trouve encore favoriſé par l'effort que les petites bulles d'air qui ſont près de ſa ſurface font pour ſe dilater: de ſorte que ſi l'on ajoûte ces circonſtances à celles d'une plus grande ſurface, & de la légèreté de l'eau lorſqu'elle eſt glacée, il ne ſera pas mal-aiſé de comprendre comment ſon évaporation pendant une forte gelée, peut égaler ou ſurpaſſer celle de l'eau ordinaire, dans un temps moyen entre le grand chaud & le grand froid.

N'oublions pas ici ce que nous avons déjà obſervé dans cette même Section *, que la tendance continuelle des particules de la glace à ſe redreſſer, ou à s'écarter en divergence les unes des autres ſous l'angle de 60 degrés, s'exerce bien plus aiſément à la ſuperficie où rien ne s'oppoſe à leur effort, que dans l'intérieur; ce qui doit rendre cette ſuperficie & moins tranſparente, comme elle l'eſt en effet, & moins polie. L'air enlevera donc d'autant plus les parties de la glace, qu'il y aura plus de temps que la glace ſera formée, & qu'elle

* Chap. VII, *p. 292.*

l'aura été par un plus grand froid ; puiſque ces circonſtances favoriſent de plus en plus la diſpoſition de ces particules à ſe détacher de la maſſe totale. Toutes les autres cauſes de l'évaporation de la glace ſe compliqueront donc avec celle-ci ; & je doute que ſans elle on pût donner une raiſon ſuffiſante de cette grande évaporation à l'égard d'un corps ſi dur & ſi ſolide, & d'autant plus grande, qu'il eſt plus dur & plus ſolide.

CHAPITRE XI.

De la Neige.

LA neige, que nous n'avons à conſidérer ici qu'en qualité de glace toute formée, n'eſt en effet, comme nous l'avons déjà dit, qu'un amas de très-petits glaçons, pour la plûpart de figure oblongue, de filamens de vapeurs congelés dans la moyenne région de l'air, rameux, & quelquefois aſſemblés autour d'un centre en forme d'étoiles à ſix pointes.

Nous avons parlé de ces étoiles (chapitre IX, ſection I) par rapport à l'angle ſous lequel les particules de glace affectent de ſe joindre entr'elles. Il y a auſſi quelquefois de la neige qui ſemble tenir un milieu entre ces figures régulières & l'amas

informe de petits filets de glace diverſement inclinés, dont nous avons encore fait mention; ſavoir, lorſqu'il ſe trouve dans quelques-uns de ſes flocons, comme de petits bouts de plume dont les barbes paralléles font un angle conſtant, & ſenſiblement de 60 degrés avec la tige. Ce ne ſont peut-être que des fragmens de rayons des étoiles les plus compoſées dont nous avons donné la figure. Il tomba de cette neige à Paris en 1740, & j'y obſervai cet angle à la loupe & au microſcope après avoir reçu quelques-uns de ſes flocons les plus rares ſur un morceau d'ébène que j'avois fait refroidir à la gelée. Et je dois avertir qu'une telle vérification à la vûe ſimple ou avec la loupe, n'eſt ni ſi difficile, ni ſi incertaine qu'on pourroit le croire, du moins à l'égard de l'angle de 60 degrés. Car comme c'eſt celui du triangle équilatéral, il n'y a qu'à imaginer, à diſtance égale du ſommet, ſur l'une & l'autre jambe de l'angle qu'on a ſous les yeux, le côté qui lui eſt oppoſé, & achever ainſi le triangle. Si cette ligne feinte, ou ſi la diſtance de ces deux points eſt ſenſiblement égale à la longueur des deux autres côtés, l'angle donné eſt ſenſiblement de 60 degrés; car le rapport d'égalité eſt celui de tous que l'eſprit & les yeux aperçoivent le plus aiſément, & avec le plus d'exactitude.

Eraſme

Eraſme Bartholin *(a)* dit avoir vû dans la neige des étoiles pentagonales, & ajoûte que quelques-uns en ont vû d'octangulaires. Mais il n'inſiſte point ſur ces ſortes d'étoiles, & n'en fait pas la deſcription : c'eſt pourquoi nous ne ſavons point ſi elles étoient régulières, ſi elles ne réſultoient pas de la ſuppreſſion d'une ſixième pointe *(b)*, ou de l'addition de deux autres, dont mille haſards pouvoient avoir été la cauſe. Pour moi qui n'ai jamais vû de pareilles étoiles dans la neige, & qui ne ſache pas qu'aucun Auteur les ait décrites, j'ai ſeulement obſervé quelques-unes de ces radiations irrégulières à la ſuperficie de certaines congélations, &, vrai-ſemblablement, par le cas fortuit que je viens de dire ; mais j'ai pris garde en même temps que ces rayons ſurnuméraires, défectueux ou irrégulièrement poſés, eu égard aux autres, n'aboutiſſoient pas exactement au centre commun, tandis que les filets ſecondaires qui s'appliquoient aux uns & aux autres, comme les barbes d'une plume à ſa tige, faiſoient toûjours exactement avec elle un angle de 60 degrés.

Les étoiles qui ont un globule à leur centre ou aux extrémités de leurs rayons,

(a) Diſſ. de figura nivis, p. 4, d'où nous avons pris les figures *A, B, C, D, E,* de la planche II, n.° 5.

(b) Comme, par exemple, dans la fig. *D.*

ou en même temps au centre & à l'extrémité des rayons *(a)*, réſultent de quelques particules de neige fondue, ou d'eau en gouttes qui ſe ſont gelées bien-tôt après. Les filets ſimples qu'on voit quelquefois répandus dans la neige, & qui ont un ſemblable globule à leurs bouts *(b)*, indiquent manifeſtement cette formation. Mais quelle complication de méchanique n'exigeront point ces étoiles qui, ayant une étoile pleine ou vuide à leur centre *(c)*, ſe terminent par une ſeconde dont les ſix rayons partent de l'intervalle de ceux de la première, & ſont eux-mêmes compoſés de filets qui s'y appliquent comme à leur tige, & toûjours ſous l'angle de 60 degrés! Et que ſera-ce encore ſi à l'extrémité de ces rayons prolongés il ſe trouve des bouquets, des feuillages d'une régularité & d'une ſymmétrie parfaites, je veux dire, qui ſoient préciſément les mêmes à l'extrémité de chacun des ſix rayons, & toûjours compoſés de filets qui ſe joignent ſous le même angle! Car il y a de ces étoiles *(d)* & de bien des eſpèces diffé-

(a) Comme *C*, *(même planche, num. 5.)*

(b) Comme *E*. *(c)* Comme *B*.

(d) Voy. celles qui furent obſervées par M. Stocke, *Phil. Tranſ. num. 464*, en Janvier 1742. Toutes très-chargées, & infiniment différentes par la diſtribution & par la configuration des parties : les unes de $\frac{1}{4}$, les autres de 1, de 1 $\frac{1}{4}$ de ligne de diamètre.

rentes, sans que la loi de cet assemblage angulaire reçoive la moindre atteinte de leur variété. Ajoûtez que ces différentes espèces ne sont presque jamais confondues dans la même neige, & qu'il n'en tombe que d'une espèce à la fois, soit en différens jours, soit à différentes heures d'un même jour *(a)*: preuve qu'il y a encore ici quelque cause particulière, telle que le degré, la soudaineté ou la lenteur du froid, le temps & le lieu de l'atmosphère où se forme cette neige.

C'est certainement ce que je n'entreprendrai point d'expliquer en détail, ou autrement que par cette même loi dont j'ai fait sentir la nécessité, tant à l'égard de ces phénomènes que de plusieurs de ceux de la glace ordinaire.

La neige, en tant que glace, en a donc toutes les propriétés; mais avec les différences que la contexture & la rareté des parties qui la composent y doivent apporter.

Ainsi elle occupe un beaucoup plus grand volume que la glace. Celle-ci ne donne qu'un 10me ou un 9me de plus que l'eau dont elle a été formée, &, comme nous l'avons déjà dit, la neige qui vient de tomber a 10 ou 12 fois plus de volume que l'eau qu'elle fournit étant fondue. M. Musschenbroek *(b)* ayant mesuré à Utrecht de la

(a) Comme il arriva de celles de M. Stocke. *Sup.*
(b) *Essai de Physique*, p. 807.

neige qui étoit fort rare & qui étoit en forme d'étoiles, elle se trouva 24 fois plus rare que l'eau : d'où résulte un excès de rareté totale plus de deux cens fois plus grand que celui de la glace par rapport à l'eau. Remarquons aussi en passant que cet excès n'est jamais si marqué que lorsque la neige a plus de ces parties assemblées sous l'angle de 60 degrés, comme l'indiquent ici les figures d'étoiles.

L'évaporation de la neige est si grande, qu'on la voit quelquefois disparoître de dessus la terre en moins d'un ou deux jours par un vent sec, & au plus fort de la gelée lorsque ce qui en est tombé ne se monte qu'à un ou deux pouces d'épaisseur ; ce qui n'est pas mal-aisé à comprendre, la neige présentant au choc de l'air un nombre infini de petites particules de glace presque toutes séparées.

Mais d'un autre côté la neige ne sauroit faire le même effort que la glace pour se dilater, étant déjà toute dilatée à peu près autant que le comporte la tendance angulaire des particules qui la composent ; ni rompre les vaisseaux qui la contiennent, ni résister considérablement à la compression, toutes ces petites aiguilles qui en forment les flocons & qui portent en chevron les unes sur les autres, étant par elles-mêmes très-friables & pouvant aisément être rompues ou entassées.

Il n'est pas étonnant aussi que la neige

conſidérée en total ne ſoit point tranſparente. Elle a tout ce qui conſtitue le plus directement l'opacité par ſa blancheur, ou ce qui revient au même, par la ſubdiviſion de ſes parties & le nombre infini de petites ſurfaces différemment inclinées qu'elle préſente à la lumière.

Quant à ſon goût, mes eſſais ne m'en ont rien appris de remarquable. J'aurois cru qu'il devoit différer ſenſiblement de celui de la glace ordinaire & de l'eau, par toutes les exhalaiſons terreſtres dont ſes flocons ſpongieux peuvent ſe charger en traverſant la partie inférieure de l'atmoſphère qui en eſt plus ou moins imprégnée; & je ne doute pas auſſi que ſelon les climats & les circonſtances du temps & du ſol, la neige n'ait quelquefois des qualités que l'eau commune n'a pas. Mais Thomas Bartholin qui nous a donné un traité de l'uſage médicinal de la neige, & qui a, ſans doute, examiné cet article avec ſoin, dit n'avoir remarqué aucune ſaveur dans la neige qui tombe actuellement; quoique long-temps après, lorſqu'elle a ſéjourné ſur la terre, & qu'elle s'y eſt taſſée, elle y contracte quelque choſe de mordicant qui ſe fait ſentir ſur la langue. La plûpart des habitans de la Norvège ne boivent en hiver que de l'eau de neige fondue.

Quoique la neige ne conſiſte qu'en de petits filets de glace diverſement inclinés les uns

aux autres, on croit communément qu'elle a quelque chaleur qui lui eſt propre, ou qu'elle eſt moins froide que la glace. C'eſt là-deſſus que quelques Auteurs ont fondé l'utilité dont elle eſt pour la végétation des plantes, & l'uſage qu'on en fait pour dégeler les membres & les fruits qui ont été gelés par un froid extrême. Sur quoi je n'ai pas aſſez d'expériences pour en dire mon avis. Mais en attendant, je crois que ce qui a été remarqué ci-deſſus * du temps doux qu'il fait quelquefois pendant qu'il tombe de la neige, pourroit bien avoir donné naiſſance à cette opinion. Car du reſte, les obſervations & les expériences les plus exactes concourent à nous perſuader que la glace quelconque, ſoit de neige, ſoit d'eau en plus grande maſſe, a toûjours à peu près le même degré de froideur dans l'inſtant de ſa formation, quoique l'une puiſſe devenir enſuite plus froide que l'autre, & qu'en cette qualité la moins froide puiſſe être de quelque ſecours étant appliquée ſur les membres ou ſur les fruits gelés, comme nous le dirons plus particulièrement dans la dernière Section.

* A la fin du chapitre IX de la Section II.

SECTION IV.

Des Phénomènes de la Glace dans sa destruction ou dans sa fonte, & du Dégel.

CHAPITRE PREMIER.

De la fonte de la Glace en général.

LA Glace doit se détruire par des causes contraires à celles qui l'ont produite. C'est l'affoiblissement & l'effusion de la matière subtile ou éthérée engagée dans les interstices des parties intégrantes de l'eau qui font que l'eau devient glace ; ce sera une augmentation de quantité, de mouvement & de ressort de cette même matière qui rendront à l'eau sa liquidité.

La cause générale pour liquéfier l'eau glacée, de même que pour durcir & congeler celle qui est liquide, n'agit que par le contact des corps, soit solides, soit liquides ou fluides qui environnent la glace, selon qu'ils sont plus ou moins chauds, & qu'ils communiquent plus ou moins de mouvement & de ressort à la matière éthérée qui pénètre dans les interstices de la glace ou de ses parties intégrantes.

Les corps solides appliqués sur la glace,

ou ſur leſquels la glace eſt appliquée, agiſſent avec d'autant plus de force & de promptitude, toutes choſes d'ailleurs égales, qu'ils ſont plus ſolides ou plus denſes, la matière éthérée y étant plus reſſerrée dans un même eſpace, & leur contact avec la glace ſe faiſant alors par un plus grand nombre de points. Ainſi du métal moins froid que la glace, ou dont la température actuelle eſt au deſſous du froid de la congélation, étant appliqué ſur de la glace, la fera fondre plûtôt que du bois ou de la laine, quand même le bois ou la laine, ou tel autre corps, ſeroient plus chauds que le métal.

On fait là-deſſus une expérience qui le prouve manifeſtement. On prend deux morceaux de glace ſenſiblement égaux & à peu près de même figure; on met l'un ſur une aſſiette d'argent, par exemple, & l'autre ſur la paume de la main; le premier eſt plûtôt fondu que le ſecond. J'ai vû faire cette expérience, & je l'ai faite. M. Haguenot l'a répétée & vérifiée depuis avec plus d'appareil devant la Société Royale de Montpellier *. Il fit plus, il compara l'efficacité de divers métaux à cet égard, de l'or, du cuivre, du plomb, de l'étain, du fer, de l'acier; *& il trouva conſtamment que la glace fondoit plus vîte ſur le cuivre que ſur tous les*

* Extr. de l'Aſſ. publ. de la Soc. R. de Montp. du 22me Déc. 1729.

autres métaux, & ſur un fer à repaſſer, plus vîte que ſur un fer ordinaire. Selon nos principes, l'or auroit dû l'emporter; mais qui ne voit qu'il ne s'agit pas ici de ces petites différences priſes à la rigueur, & que dans l'explication générale que nous donnons de ce phénomène, nous ne prétendons point exclurre les exceptions qui peuvent naître de la nature particulière de chacun de ces corps! Le cuivre, & ſur-tout le cuivre jaune, eſt celui de tous les métaux qui ſe dilate le plus par la chaleur *, & c'en eſt aſſez pour préſumer qu'il eſt celui de tous qui contient le plus de matière ſubtile ou ignée, ou celui dans lequel elle a le plus de mouvement. Le fer à repaſſer, où *la glace fond plus vîte que ſur un fer ordinaire,* ſe trouve peut-être dans le même cas par l'uſage qu'on en fait; mais il eſt auſſi communément plus liſſe que le fer ordinaire, comme on l'entend ſans doute de celui ci; ce qui ne peut manquer de produire une application plus prompte, un contact plus complet de la glace qu'on met deſſus. Du reſte nous ignorerons le rapport exact de température entre les métaux, juſqu'à ce qu'on ait trouvé le thermomètre dont j'ai parlé dans le chapitre V de la Section précédente.

L'efficacité des liquides & des fluides pour fondre la glace, doit ſe régler ſur les

* Muſſch. *Eſſai de Phyſ. p. 453.*

mêmes principes en général, & de plus sur le mouvement intestin, sur la grosseur & la solidité des parties intégrantes qui les composent. C'est par toutes ces circonstances qu'une pièce de glace est beaucoup plus de temps à fondre près du feu, à une distance où l'on auroit de la peine à tenir la main, que dans de l'eau tiède. Car la matière subtile qui se meut avec les parties intégrantes de l'eau, & qui leur communique toute leur agitation, les pousse continuellement contre le glaçon qui y est plongé, & à l'aide de ces grosses masses, par rapport à ses molécules, elle met en mouvement plusieurs particules de glace, elles les sépare, & s'y fait un passage; tout de même qu'une rivière abat un pont par le choc des glaçons & des troncs d'arbres qu'elle pousse contre lui, tandis que la simple impétuosité de l'eau auroit été incapable de l'ébranler.

L'air fait quelque chose de semblable sur la glace, mais son action est très-inférieure à celle de l'eau; parce qu'il n'est composé que de petits flocons de filets ou de lames peut-être huit à neuf cens fois plus légères qu'un pareil volume d'eau, ce qui revient au même que si ces filets ou ces lames étoient huit à neuf cens fois plus petites qu'elles ne sont. D'ailleurs l'air affoiblit apparemment beaucoup plus la matière subtile a cet égard, par ses spirales & ses

rameaux, qu'il ne lui aide par la groſſeur des particules qui le compoſent; car tout le reſte étant égal, un morceau de glace qui eſt 6 minutes 24 ſecondes à ſe dégeler dans l'air libre, n'emploie que 4 minutes à ſe fondre dans la machine du vuide; c'eſt-à-dire en général, que la fonte de la glace y eſt d'un tiers plus prompte que dans l'air *.

CHAPITRE II.

Que la glace ſe fond beaucoup plus lentement qu'elle ne s'eſt formée; & pourquoi.

IL E fait eſt certain; tout le monde ſait que telle glace qui ſe ſera formée en cinq ou ſix minutes à l'air d'une forte gelée, ſera pluſieurs heures, & quelquefois des jours entiers à ſe fondre étant tranſportée dans un lieu moins froid, & où la même eau ſe maintenoit auparavant dans ſon état de liquidité. L'utile invention des glacières n'eſt fondée en partie que ſur ce principe; car il s'en faut bien qu'à l'endroit le plus profond du creux qu'on fait en terre pour y conſerver la glace, ni la terre humide, ni les filets d'eau qui pourroient s'y ren-

* Expérience faite *& réïtérée pluſieurs fois* par M. Homberg. *Mém. de l'Acad. 1693, Tome X, p. 265.*

contrer, ne ſoient toûjours à portée de s'y glacer, en été ſur-tout, & dans les climats un peu chauds où les glacières ſont de plus grand uſage.

Si l'on ſuppoſe, comme nous avons fait par manière d'exemple dans la première partie de cet ouvrage *, que la congélation de l'eau arrive par des diminutions de mouvement de la matière ſubtile intérieure, ſelon quelque progreſſion, telle que 6, 12, 24, 48, &c. dont chaque terme réponde à une minute de temps, pendant que la matière ſubtile extérieure ne diminue que d'un degré à chaque minute; ſi, dis-je, l'on ſuppoſe cet ordre dans la formation de la glace, il ne ſuffira pas de le renverſer pour exprimer celui qu'elle garde en ſe fondant: car le même degré de chaleur, ou de mouvement de la matière ſubtile, qui entretenoit l'eau dans ſon état de liquidité, doit avoir bien de la peine à le lui rendre, quand elle l'a une fois perdu; & telle augmentation de mouvement peut bien ne pas produire la fonte de la glace, qu'une pareille diminution de mouvement aura formée. Ce que pluſieurs voyageurs rapportent des prodigieux monceaux de glace que l'on trouve au delà du Cercle polaire, & qu'ils jugent être auſſi anciens que le Monde, confirmeroit notre théorie ſur ce ſujet: car il

* Chap. VII, *page 39*.

pourroit ſe faire que les étés de ces climats ne ſeroient jamais capables de fondre toute la glace que les hivers y auroient amaſſée.

Nous n'en tirerions pourtant pas la conſéquence qu'en a tirée un ſavant Anglois * qui écrivoit vers le milieu du ſiècle paſſé, & qui ayant adopté l'opinion des glaces perpétuelles autour des Poles, les fait monter ſi haut, qu'il en déduit la figure de la Terre ſenſiblement alongée ſur ſon axe. C'eſt la raiſon qu'il donne de l'apparence elliptique de l'ombre terreſtre ſur le diſque de la Lune, dans deux éclipſes, dont l'une fut obſervée par Tycho-Brahé, & l'autre par Képler. Mais tout cela pêche par bien des endroits. On ſait aujourd'hui, & nous l'avons déjà remarqué, que les mers les plus glaciales autour du Pole ne ſont telles qu'auprès des côtes, & juſqu'à vingt ou vingt-cinq lieues en mer. Ainſi il ne faut pas imaginer cette protubérance des glaces comme uniformément étendue ſur toute cette partie du globe & comme capable d'y produire une courbure elliptique, mais plûtôt comme des tas répandus çà & là. Et ces tas ou ces monceaux de glace immenſes, ſi l'on veut, & très-immenſes pour les navigateurs qui les rencontrent ſur leur chemin, que pourroient-ils être autre choſe

* Childrey, *Hiſt. des ſingularités d'Angleterre, d'Ecoſſe & du pays de Galles*; Province de Caernarvon.

que de petites rugosités insensibles sur la totalité du Globe, & plus encore sur les bords mal terminés de son ombre dans les éclipses lunaires. Ceci n'a d'ailleurs aucun rapport avec la fameuse question de la figure de la Terre, qui ne fut mue qu'une vingtaine d'années après, & qui est fondée sur des principes de Statique tout différens.

Mais revenons à notre calcul sur la fonte de la glace.

Il est bien plus aisé à la matière subtile intérieure, de s'échapper d'entre les parties intégrantes du liquide, ou d'y perdre une partie de son ressort, pendant qu'elle les tient séparées, que de s'y glisser, ou de recouvrer le ressort perdu, après que leurs surfaces se sont appliquées les unes contre les autres, & que plusieurs de ces parties ne lui laissent aucun passage pour les diviser & pour vaincre la compression de la matière subtile extérieure qui entretient leur union. En suivant donc l'hyphothèse précédente, selon laquelle la diminution d'un degré de mouvement dans la matière subtile extérieure pendant la première minute, a produit une diminution de 6 degrés dans la matière subtile intérieure de l'eau, on doit concevoir que l'augmentation d'un degré de mouvement dans la matière subtile extérieure pendant la première minute, ne produira peut-être pas une 1000me partie de degré de mou-

vement ſur les particules de la glace, & ainſi de ſuite, ſelon telle progreſſion qu'on jugera la plus convenable. Je dis ſur les particules de la glace, & non ſur la matière ſubtile intérieure; parce que, comme je viens de le remarquer, celle-ci pourroit recevoir beaucoup de mouvement de la première, ſans qu'elle eût pourtant encore aſſez de force pour déſunir des ſurfaces qui ne lui permettent quaſi aucun paſſage. Je crois qu'il faut preſque toûjours que la matière ſubtile ébranle les particules de la glace par ſon choc, avant que de pouvoir s'inſérer entr'elles; & les molécules de la matière ſubtile étant d'une petiteſſe comme infinie, par rapport aux parties intégrantes de la glace ou de l'eau, elles ne ſauroient faire cet ébranlement que par leur grand nombre, par une extrême agitation, & dans un temps conſidérable.

CHAPITRE III.

De l'ordre dans lequel les parties de la glace ſe fondent.

LA glace commence à ſe former par ſes bords & par la ſurface de l'eau; elle commence de même à ſe détruire par ſes bords, par ſes pointes, ſes angles ſolides,

& par ſes arêtes lorſqu'elle en a, & enſuite par toute ſa ſurface expoſée à l'air. Ainſi la fonte de la glace n'eſt pas abſolument l'inverſe de la congélation, puiſqu'elle commence à fondre aux mêmes endroits par où elle avoit commencé à ſe former; mais elle l'eſt à d'autres égards, puiſqu'à ſa ſurface, par exemple, les dernières parties qui s'y étoient gelées ſont les premières à fondre, & que les filets de glace par où elle avoit commencé ſont ordinairement ce qui s'y fond le plus tard, par cela même que c'en étoient les parties les plus diſpoſées à la congélation, & réciproquement les moins diſpoſées après cela à la fonte.

On aperçoit d'abord ſur la ſuperficie de la glace une eſpèce de ſueur qui la rend plus terne & moins tranſparente qu'elle n'étoit auparavant; parce qu'elle conſiſte en pluſieurs gouttelettes d'eau ou de vapeurs qui réfléchiſſent diverſement la lumière. Dans peu de temps ces particules d'eau augmentant en nombre & de groſſeur, & venant à ſe joindre, forment de petits filets ou des traînées d'eau, & ruiſſelent de tous côtés plus ou moins uniformément en ligne droite, courbe ou tortueuſe, ſelon que la ſuperficie de la glace étoit plus ou moins unie, & plus ou moins de niveau, ou diverſement inclinée. Lorſque la diminution du froid eſt prompte & de pluſieurs degrés par rapport à

celui de la congélation, & accompagnée d'un vent humide, la ſuperficie de la glace prend bien-tôt le plus beau poli & toute ſa tranſparence, parce que l'eau qui coule abondamment de toutes ſes ſurfaces en enlève toutes les rugoſités, en remplit tous les petits creux formés par les bulles d'air, & y répand par-tout comme un vernis clair & limpide, ainſi que nous l'avons expliqué ci-deſſus en parlant de la tranſparence de la glace.

Dans tous ces cas & lorſque la glace ne nage point dans l'eau qui provient de ſa fonte, ou que cette eau peut s'écouler par les côtés, il ſuccède au poli de ce qui reſte à fondre, des rainures, des cavités çà & là, qui font de la glace un corps raboteux comme une pierre ponce, une eſpèce de neige à demi-fondue. Car la glace n'étant point d'une égale conſiſtance dans toutes ſes parties, celles qui ſont les moins compactes fondent les premières, & ſelon que par mille circonſtances elles ſe trouvent plus ou moins abreuvées de l'eau qui coule ou qui ſéjourne plus ou moins dans un endroit que dans l'autre. C'eſt ſous cette forme que la glace achève ordinairement de ſe détruire ou de ſe fondre.

Tous ces accidens, qu'il eſt impoſſible de ramener à rien de conſtant, font qu'il eſt très-rare que les filets par où la glace

commence à se former, & les figures qui en résultent, se manifestent dans sa fonte. Le hasard seul m'en a fourni quelques exemples. Cependant lorsque la glace ne consiste qu'en une pellicule très-mince, lorsque ce n'est qu'un peu d'humidité qui s'est congelée sur une surface unie, il n'est pas si extraordinaire d'y apercevoir quelques-uns de ces filets qui sont les derniers à fondre, & même les angles & les figures qu'ils forment entr'eux, les particules de glace qui rempliſſoient leurs intervalles, & qui les unissoient, ayant fondu ou s'étant évaporées les premières.

Enfin il paroît quelquefois dans ce dernier cas des figures tout-à-fait différentes de celles que nous avons observées dans la formation de la glace; mais c'est ce qui fera le sujet d'un des chapitres suivans.

CHAPITRE IV.

Du Dégel.

L'ADOUCISSEMENT qui résout les glaces & les neiges dans tout un pays, ce relâchement général du grand froid, qu'on appelle proprement Dégel, arrive par des causes toutes contraires à celles de la gelée. Le dégel est en cela plus parfaitement l'inverse de la gelée que la fonte particulière de la

glace ne l'eſt de la congélation. Il ſuffira donc de ſe rappeller les cauſes générales & particulières de la gelée expoſées dans la première partie de cette Diſſertation, & d'y oppoſer leurs contraires pour expliquer le phénomène du dégel. Le retour du Soleil vers notre hémiſphère, ſes rayons plus directs, moins d'atmoſphère & de vapeurs qu'ils auront à traverſer, l'affaiſſement ou la précipitation des corpuſcules nitreux & ſalins répandus dans l'air, les vents chauds ou tempérés & humides qui viennent des régions du midi, & plus que tout le reſte le relâchement des parties extérieures du terrein par une ſortie plus abondante des vapeurs intérieures qui émanent du fond de la terre ou du centre du Globe, ſeront ces cauſes contraires & celles du dégel.

Les ſuites les plus ordinaires & les plus connues du dégel, ſont le débordement des rivières, la deſtruction des ponts par le choc des groſſes pièces de glace que les rivières & les fleuves entraînent, & les montagnes de glace qui ſe forment quelquefois en certains endroits de leur cours, ou au milieu des mers glaciales, par l'aſſemblage des glaçons que les flots lancent avec impétuoſité les uns ſur les autres: effets dont la cauſe eſt trop viſible, pour nous y arrêter. Si l'on en veut un exemple conſacré par l'hiſtoire, on peut voir dans l'Abrégé de

Mézerai, année 1608, la montagne de glace qui s'étoit formée à Lyon sur la Saône devant l'église de l'Observance, par l'accumulation des glaces que cette rivière y avoit poussées, & la manière prétendue magique dont cette montagne fut brisée, & apparemment pétardée.

Il n'est guère plus difficile d'expliquer ce froid qui semble redoubler, lorsqu'il est près de finir, & qui se répand dans l'air au commencement du dégel. Ce n'est presque jamais qu'une pure illusion de nos sens. Le thermomètre, témoin irrévocable en matière de froid & de chaud, en est la preuve, puisqu'il hausse presque toûjours au commencement du dégel. Mais il se répand alors dans l'air une si grande quantité de particules aqueuses, ou de petits glaçons fondus, encore très-froids, & toûjours très-denses en comparaison de l'air, qu'ils excitent sur notre peau à laquelle ils s'appliquent plus immédiatement que l'air, une sensation de froideur que cet air sec n'y excitoit pas auparavant. C'est ainsi qu'un brouillard moins froid que l'air pur qui l'environne, nous paroît beaucoup plus froid que cet air. Il est vrai que pour l'ordinaire le thermomètre n'est jamais plus bas qu'un peu avant le dégel; mais c'est que le froid, qui est en même temps cause & effet de la gelée, croît presque toûjours de plus en plus jus-

qu'au dégel. Je ne voudrois pourtant pas exclurre du moment où la glace de tout un pays commence à fondre, un froid réel qui ſe répandît dans l'air, par l'abſence d'une partie de la matière ſubtile qui le pénétroit, & qui paſſe dans ce nombre infini de particules d'eau glacée qui ſe fondent, où elle ſe loge, & qu'elle va, pour ainſi dire, animer, en les faiſant redevenir liquides.

Le dégel, & la gelée dont il eſt précédé, ſont deux phénomènes réciproques qu'on doit étudier & obſerver conjointement, & de l'obſervation conſtante deſquels je ne doute point qu'on ne pût retirer de très-grands avantages.

CHAPITRE V.

Plan d'obſervations à faire ſur les retours annuels & périodiques de la gelée & du dégel, & ſur leurs durées par rapport au climat de Paris, & aux autres climats de la Terre.

LA gelée & le dégel dans les climats tempérés ſemblent n'être que des accidens. La cauſe générale de la viciſſitude des ſaiſons n'y eſt point aſſez forte pour amener l'un & l'autre en des temps réglés & périodiques, ni d'une manière conſtante. Il gèle

& il dégèle à Paris quelquefois avant, plus ſouvent après le ſolſtice d'hiver, &, d'une année à l'autre, en des points de l'hiver très-différens. On y voit des hivers ſans glace, & des printemps, des automnes, des étés même, où la gelée ſe fait ſentir. On pourroit preſque révoquer en doute qu'il y gelât jamais par la cauſe générale & conſtante, abſtraction faite des cauſes particulières, accidentelles & variables qui l'accompagnent, ſi la cauſe générale ne s'y manifeſtoit par le grand nombre d'hivers où il gèle, en comparaiſon de ceux où il ne gèle pas. Mais en avançant vers l'Equateur, il y a certainement des pays ſur le Parallèle deſquels il ne géleroit point du tout par cette cauſe, comme il y en a vrai-ſemblablement près des Poles où il géleroit toûjours.

Quelque variété qui règne dans la Nature, on ne peut douter que tout n'y tende à une eſpèce d'équilibre & d'uniformité, & que l'inconſtance même n'y ait ſes loix. Si nous avions des obſervations météorologiques de pluſieurs ſiècles dans un même pays *, il y a tout lieu de croire que la ſomme totale des pluies, des vents, des gelées & des dégels de ce pays pendant un ſiècle, ne différeroit pas ſenſiblement de celle d'un autre ſiècle, ou que s'il s'y trouvoit des différences

* Extrait de l'Hiſt. de l'Acad. des Sc. 1743, *p.* 17, où j'avois inſéré à peu près ce qui ſuit.

marquées, un nombre de siècles plus grand encore nous en dévoileroit la marche & les compensations. Car enfin, les pièces de cette machine & du système solaire ne sont pas infinies; leurs révolutions doivent nous redonner à peu près les mêmes effets, ou nous indiquer la cause de variation ou de dépérissement qui en trouble les retours. L'Asie, l'Afrique & l'Amérique nous fournissent mille exemples de grandes contrées où il tombe en certains temps de l'année des pluies réglées auxquelles on s'attend, & sur lesquelles il est rare que l'on se trompe. Ces contrées sont pour la plûpart comprises entre les tropiques, ou ne s'en éloignent pas beaucoup. L'Europe qui, en général, ne nous offre rien de pareil, occupe au contraire le milieu d'une zone tempérée; mais aussi ses parties les plus septentrionales sont assez régulièrement chargées de neige pendant sept à huit mois de l'année, & l'été qui succède à ce long hiver est communément assez uniforme. Les vents sont toûjours plus réglés par leurs durées, par leurs directions & par le temps de l'année où ils soufflent, dans la zone torride & dans la zone polaire que nous connoissons, que dans la tempérée qui est entre ces deux extrêmes. On observe quelque chose de semblable en Islande & dans le Groenland sur les gelées, sur les dégels & sur les variations du baromètre qui dispa-

roiſſent preſqu'entièrement ſous l'équateur. Or ſi le dérèglement des pluies, des vents, des gelées & des dégels peut être ramené à quelque choſe de fixe & d'uniforme dans les extrêmes, n'eſt-il pas à préſumer que la même conſtance & la même uniformité ſubſiſtent dans les climats moyens qui en participent, quoique ſous une forme plus compliquée & plus difficile à démêler !

Je ne trouve pas que l'Académie des Sciences ait établi des obſervations météorologiques avant 1688. Il paroît ſeulement que quelques-uns de ſes Membres avoient obſervé pluſieurs années auparavant la quantité d'eau de pluie qui tombe tous les ans, ſoit à Paris, ſoit à Dijon, ce qui s'en évapore, & ce qui s'en imbibe dans la terre à plus ou moins de profondeur, comme on en peut juger par quelques ouvrages ſur l'origine des fontaines & des rivières, & ſur-tout par le Traité du mouvement des eaux de M. Mariotte. Mais je doute qu'il y ait rien eu de régulier & de ſuivi ſur ce ſujet dans cette Compagnie, non plus que parmi les autres Savans de l'Europe, avant le temps que je viens de fixer. On obſerva alors, non ſeulement la quantité de pluie, mais encore les vents, les variations du baromètre, celles du thermomètre, le chaud & le froid; & il réſulte de ces obſervations auſſi utiles, auſſi précieuſes pour les vrais Phyſiciens, que peu brillantes

brillantes en elles-mêmes, que le plus grand froid & le plus grand chaud de notre climat ne se font sentir, année commune, qu'environ un mois & plus après les solstices d'hiver & d'été. Les raisons que j'ai données ailleurs * de ce phénomène sont assez connues, & se réduisent à celle-ci, que la terre encore échauffée par l'été & l'automne, balance pendant un mois & plus, le froid imprimé au terrein ou excité dans l'atmosphère par la cause générale des saisons, & de même à l'égard de la chaleur. Mais on n'a rien donné d'équivalent ou d'assez exact par rapport aux gelées & aux dégels pour en déterminer le commencement, la durée & la fin relativement à chaque climat, abstraction faite des causes accidentelles. Car je ne doute point qu'on ne découvrît là-dessus dans chaque pays une année moyenne entre certaines limites, comme on a fait pour le plus grand chaud & le plus grand froid, & pour la quantité d'eau de pluie.

On pourroit donc se faire un canevas d'observations entre ces limites pour tous les climats de la Terre où l'alternative des gelées & des dégels a lieu, en traçant ces limites sur un plan, ou sur un globe terrestre avec ses méridiens & ses parallèles, & en partant du cercle des solstices, qui seroit à cet égard comme le premier méridien qui passe

* Mém. 1719, *p.* 118...., 126.

par l'Isle de Fer par rapport aux longitudes *.

CHAPITRE VI.

De la Glace ou de l'espèce de Neige qui s'attache aux murailles, après les longues gelées, pendant le dégel.

TOUT corps plus froid que l'air qui l'environne, condense cet air & la vapeur aqueuse dont cet air est chargé, & il la gèle si cette froideur va jusqu'à la congélation ou surpasse la congélation.

* Soit *P*, (*planche IV*) le pole, autour duquel sont tracés les parallèles *C B C*, *M Q N*, *m q n*, &c. & d'où partent les méridiens *P Q*, *P M*, *P N*, *P m*, *P n*. Soit *P Q E* le cercle des solstices ou la portion de ce méridien comprise entre le pole *P*, & le parallèle *L E L*, au delà duquel, en allant vers l'équateur, il ne gèle jamais qu'accidentellement. Nous pouvons imaginer de même autour du pole un cercle ou parallèle *C B C*, dans lequel l'eau commune ne dégéleroit jamais que par accident. Cela posé, *B E* sera le diamètre ou l'axe des deux courbes des limites *A M Y* des gelées, & *A N Y* des dégels. Soit chacun des parallèles, compris entre *B* & *E*, divisé en autant de parties qu'il y a de jours dans l'année, ou, soit pris sur les degrés & minutes de *Q* ou *q*, vers *M* ou *m*, autant de degrés & minutes qu'en contient le nombre de jours dont la gelée doit précéder l'arrivée du Soleil au solstice d'hiver par la cause générale & constante des saisons sur le parallèle donné ; & de même de *Q* ou *q*, vers *N* ou *n*, pour le nombre de jours qui doivent s'écouler depuis le solstice jusqu'au dégel par la même cause. Il est clair, 1° Que la ligne menée par

Les corps, toutes choſes d'ailleurs égales, gardent d'autant plus leur état de chaleur ou de froideur, qu'ils ſont plus ſolides, plus peſans, ou qu'ils contiennent plus de matière propre. Leur ſuperficie ne prend pas même aiſément la température de ce qui

tous les points *M, m*, donnera la courbe des gelées *A M m Y*, & par tous les points *N, n*, celle des dégels *A N n Y*. 2° Que la partie du parallèle *M N, m n*, interceptée par ces deux courbes, exprimera la durée de la gelée ſur chacun de ces parallèles, comme la courbe *B T t A* qui les partage en deux également en exprimera le milieu. 3° Que ſur le parallèle *C B C* les deux extrémités *m, n*, ſe réuniſſent en *Y* où ſe terminent les deux courbes des limites. 4° Que ſi l'on veut appeller froid tout ce qui eſt au degré de la congélation & au deſſous ſur le thermomètre, & nommer chaud tout ce qui en fait monter la liqueur au deſſus, l'eſpace *A M m Y n N A*, compris entre les deux courbes, & le reſte de toute la ſurface de l'hémiſphère polaire comparés enſemble, donneront l'année commune ou les ſommes moyennes du froid & du chaud qui règnent ſur tout cet hémiſphère, & même ſur toute la Terre; car la différence qu'il y doit avoir à cet égard de l'hémiſphère boréal à l'auſtral peut y être aiſément ramenée. Enfin il eſt clair qu'une partie de la courbe *A M m Y* doit ſe trouver au delà de l'axe *P E*, vers ſon origine *A*, & avoir un point d'interſection, & peut-être d'inflexion, *S*, ſur ſon axe. Car puiſque ſur un parallèle, tel que celui de Paris, les gelées n'arrivent communément qu'un mois & plus après le ſolſtice, il y aura néceſſairement ſur ce parallèle, ou ſur un autre au deſſus vers le pole, ou au deſſous vers l'équateur, un point tel que *S*, pour le commencement des gelées, après lequel elles ne commenceront plus qu'au delà vers l'origine de la courbe, & enfin au point *A*, où, à la rigueur & ſelon l'hypothèſe, elles ne dureroient qu'un inſtant.

les environne juſqu'à ce qu'elle ait pénétré aſſez avant dans leur ſolidité.

Avec ces deux principes, qui n'ont pas beſoin d'explication, celle du phénomène dont il s'agit ne ſouffre aucune difficulté.

Une longue & forte gelée imprime aux corps ſolides, tels que les murs épais, une froideur qui dure encore aſſez long-temps après que le dégel a réchauffé l'air, & ſur-tout du côté du mur qui eſt le moins expoſé à l'adouciſſement extérieur. Ainſi les parois intérieures des eſcaliers & des autres murailles des maiſons, lorſqu'elles ſont éloignées du feu, & à couvert des rayons du Soleil, ſe montrent toutes tapiſſées de glace ou de neige, après les longues & fortes gelées, parce que l'air qui eſt un fluide fort rare, prend aiſément le degré de chaleur amené par le dégel, & long-temps avant qu'il ait pénétré les murailles épaiſſes qui demeurent encore auſſi froides, ou plus froides que la glace; & de plus parce que l'air eſt chargé de beaucoup d'humidité & de particules de glace fondues pendant le dégel. Toutes ces gouttelettes ou ces petites ampoules d'eau venant à s'appliquer & à s'accumuler ſucceſſivement ſur la muraille, & les unes ſur les autres, y forment une croûte de glace, rare, ſpongieuſe, compoſée de parties preſque disjointes, comme de la glace briſée, & par conſéquent blanche, & fort ſemblable

à de la neige. Les longues gelées deviennent preſque toûjours très-fortes, & ont tout le temps de pénétrer la pierre; auſſi eſt-ce après, qu'on y voit cette couche farineuſe. J'en ai vû tout le grand eſcalier du Louvre tapiſſé en 1729, 1741, &c. pendant quelques jours, & d'une ligne, d'une ligne & demie, ou de près de deux lignes d'épaiſſeur en certains endroits.

C'eſt une erreur de croire que cette eſpce de neige vient de l'humidité qui ſort du mur, elle n'a garde d'en ſortir, puiſqu'il eſt encore auſſi froid que la glace, ou même beaucoup plus froid, & que ce qu'il y a d'humidité au dedans, n'y peut être que glacé.

Il ſe fait quelque choſe d'approchant ſur les parois extérieures des ſeaux de métal, de porcelaine & de fayence remplis de glace, & où l'on fait rafraîchir les liqueurs. Ils ſont tout couverts de gouttelettes d'eau condenſées qui leur donne ce terne & ce mat qu'on y aperçoit. Ces gouttelettes ſont fournies par l'air extérieur, par la vapeur qui s'élève ordinairement de la glace qui ſe fond, & qui eſt quelquefois viſible dans les glacières, comme de la fumée. Elles ſe géleroient ſur les parois du ſeau, ſi l'épaiſſeur du métal ou de la terre, & ſi l'eau de la glace déjà fondue, ne les en défendoient, & plus encore, ſi l'on redoubloit la glace,

ou ſa froideur par quelque ſel; comme nous le dirons dans la Section des glaces artificielles.

CHAPITRE VII.

Des figures curvilignes qui ſe trouvent quelquefois tracées ſur les vitres par pluſieurs brins de glace, pendant le dégel.

CE phénomène eſt, quant au fond, le même que le précédent. Il en diffère par la circonſtance des figures, & c'eſt par-là auſſi qu'il eſt à mon avis beaucoup plus difficile à expliquer.

J'ai aſſez ouï parler des figures ſingulières qui ſe forment ſur les carreaux des vitres pendant la gelée ou le dégel. On m'a aſſuré qu'en Allemagne, & dans les pays & les maiſons où l'on fait grand uſage des poêles, elles étoient fort communes; qu'ici même pendant les gelées, on s'en étoit fait quelquefois un jeu, en pouſſant ſon haleine contre les carreaux; & tout cela vaguement conçu ne me paroît pas difficile à entendre, après ce qui a été dit dans le chapitre précédent. L'air de la chambre eſt chaud ou tempéré, la vitre eſt froide, auſſi froide ou beaucoup plus froide que la glace par l'impreſſion de la gelée extérieure, & la vapeur qui

s'y attache du côté de la chambre y eſt ſubitement congelée. Ou au contraire, ſi c'eſt pendant le dégel, ſi c'eſt l'air de la chambre qui ſoit très-froid encore, & que l'adouciſſement vienne du dehors, comme dans le cas dont il s'agira principalement ici, ce ſera l'humidité du dehors qui s'attachera aux carreaux, & qui s'y congélera. Tout cela, dis-je, en général ne ſouffre aucune difficulté. Mais pourquoi ces figures? quelles ſont ces figures? Et lorſque le haſard les fait paroître, eſt-ce pendant la gelée, ou au dégel? C'eſt ſur quoi je n'ai rien pû recueillir de poſitif, ni de bien circonſtancié.

De plus, il faut que le phénomène exige un concours de circonſtances aſſez rare, qu'il ſoit moins fréquent qu'on ne dit, ou que le haſard m'ait bien mal ſervi; car je ne l'ai vû que deux fois à Paris, & jamais dans le bas Languedoc où j'ai été pourtant aſſez occupé des phénomènes de la glace. J'aurois pû depuis me le procurer par art, & de manière peut-être à m'inſtruire de ſa véritable cauſe; j'avois imaginé quelques moyens pour cela, mais d'autres occupations m'ont empêché de mettre la main à l'œuvre: excuſe qu'il me ſemble qu'on doit quelquefois me paſſer, dans le cours d'une recherche qui ſe diviſe & ſe ſubdiviſe en autant de branches que celle-ci.

Je n'ai donc pas de meilleur parti à prendre

en cette occaſion, que de rapporter hiſtoriquement le phénomène tel que je l'ai vû, dans quelles circonſtances je l'ai vû, & les réflexions qu'il m'a fait faire.

Le 19 Janvier 1729, vers les huit heures & demie du matin, la forte & longue gelée de cette année étant à ſon dernier période, & pluſieurs ſignes en indiquant la fin, j'aperçus ſur les carreaux de vitre de l'une des deux fenêtres de la galerie où je tiens mes livres, où il n'y a jamais de feu, & qui donne ſur le levant, une pouſſière de glace, blanche & très-fine, qui, étant regardée de près, repréſentoit des rinceaux contournés en ſpirale, des ramages comme on en voit dans les friſes des bâtimens, & ſur les plafonds, des moreſques comme celles de certaines étoffes, ſur le damas, & ſur le linge façonné de Flandres; tout cela peu diſtinct, & mêlé de cette pouſſière qui en rempliſſoit les intervalles, & en interrompoit ſouvent les contours. Le phénomène dura environ une heure, & ſe diſſipa, ſi je ne me trompe, par évaporation. Mais le lendemain 20me au matin & à la même heure, ayant été regarder à la même vitre, j'y vis avec admiration toutes ces figures mieux développées, ces ramages plus marqués, par une plus groſſe pouſſière, blanche, oblongue dans la direction des contours, & ces contours d'une hardieſſe

merveilleuſe. Cinq ou ſix carreaux en étoient chargés extérieurement, il y en avoit un ſur-tout qui fixa mes regards. Une eſpèce de tige partoit d'un de ſes angles, & ſe diſtribuoit en pluſieurs rameaux juſqu'à ſes extrémités, au delà deſquelles ils ſembloient continuer de s'étendre ſur les carreaux voiſins, quoiqu'interrompus par les plombs de jointure, & à une ou deux lignes de diſtance de part & d'autre.

Mon premier ſoin, après avoir bien conſidéré ce phénomène, fut de le deſſiner du mieux qu'il me ſeroit poſſible pour le peu de temps qui me reſtoit; car la pouſſière de glace commençoit à fondre, à couler, & à former des gouttes en quelques endroits de l'eſpace même où je voulois borner mon deſſein. On peut en voir une partie dans la Planche V, qui eſt à la fin de ce volume, en imaginant que ces petits traits oblongs qui forment les ramages, au lieu de noirs qu'ils ſont, ayant été faits à la plume, doivent être blancs & paroître tels ſur un verre tranſparent. Du reſte, ni moi, ni le graveur n'avons rien ajoûté à la beauté & à la variété de la Nature, nous ſommes au contraire demeurés bien au deſſous. Cette vitre n'a point de double, & les carreaux ſont d'environ $6\frac{1}{2}$ pouces de hauteur, ſur $5\frac{1}{2}$ de largeur.

Venons à la ſeconde obſervation.

Je fus vainement attentif à toutes les gelées, & à tous les dégels des années ſuivantes; rien de pareil ne ſe montra ſur mes vitres juſqu'au mois de Janvier 1743, où, après pluſieurs jours de gelée, & au commencement du dégel, j'aperçus de ſemblables figures ſur les carreaux de la même fenêtre; mais malheureuſement celui que j'avois deſſiné par préférence en étoit le moins chargé, & il me fut impoſſible d'y bien diſtinguer ſi c'étoient les mêmes, ou des figures différentes, & autrement placées. Cependant j'étois ſûr que les carreaux n'en avoient pas été changés. Mais pendant que j'y obſervois le phénomène, je fus averti qu'il paroiſſoit de même ſur un des chaſſis de la fenêtre de ma chambre, au mur oppoſé & vers le couchant. Quatre des carreaux de ce chaſſis qui eſt double, mais dont un ſeul, le chaſſis extérieur, étoit demeuré fermé pendant la matinée & dans ce moment, ſe trouvoient chargés d'une ſemblable broderie, principalement autour du point d'interſection de la petite croiſée de bois qui les ſéparoit; car ils étoient diſpoſés quarrément: excepté que celui d'embas & le plus proche du mur de la fenêtre, vers le nord, ſe diſtinguoit par une tige qui partoit d'auprès d'un de ſes angles, fort ſemblable à celle de la première obſervation. Elle ſe développoit en un plus grand nombre de rameaux, les carreaux du

chaſſis étant plus grands que ceux de la vitre de la galerie, & ayant chacun environ 9 pouces de hauteur ſur $7\frac{1}{2}$ de largeur. J'en pris auſſi le deſſein; mais il eſt inutile de le rapporter, le premier nous ſuffit.

Ce n'eſt plus ici cette diſpoſition angulaire des filets de glace, cette affectation à s'arranger ſous un angle bien marqué, ſous un angle de 60 ou de 120 degrés, dont nous avons vû tant d'exemples dans la première Section de cette partie. Ce ſont des cercles ponctués & redoublés, comme pour repréſenter des tourbillons de pouſſière, des volutes, des courbes à point d'inflexion, dont rien juſqu'ici ne nous indique la tendance dans les particules de l'eau qui ſe glace, non plus que dans les ſels qui ſe cryſtalliſent. Car je dois dire à propos des ſels, qu'il y avoit eu ſouvent, & depuis peu, de l'urine ſur la fenêtre de ma galerie, & qu'il pouvoit bien s'en être exalté quelques particules juſqu'aux carreaux de vitre où étoient les figures, & qui n'étoient qu'à un ou deux pieds au deſſus de la tablette. Mais des congélations de l'urine, & des mélanges urineux avec l'eau, réſulte-t-il jamais autre choſe que des figures rectilignes, angulaires, & plus marquées à cet égard, que celles de l'eau? C'eſt ce que nous avons ſuffiſamment remarqué en ſon lieu, & mis ſous les yeux, planche III.

Sans compter que rien de pareil ne peut être allégué ſur la fenêtre de la chambre que j'habitois depuis 20 ans lorſque je vis ce phénomène pour la ſeconde fois.

Il faut donc avoir recours à un tout autre principe que celui des congélations & des cryſtalliſations ordinaires, & ce principe eſt à mon avis tout-à-fait étranger à la matière congelée ou cryſtalliſée.

Les divers mouvemens que l'ouvrier fait faire à la ſpatule ou baguette de fer avec laquelle il remue la pâte du verre avant que de le ſouffler & de l'aplatir, ne produiroient-ils point dans la matière vitreuſe, pluſieurs filets diſpoſés ſelon les mêmes directions, & cette diſpoſition, qui a pour cauſe les révolutions fortuites de la baguette, ne ſeroit-elle point à ſon tour la véritable cauſe des figures curvilignes tracées ſur le verre par la pouſſière de glace? Ce que les miroitiers appellent des *bouillons* ne vient apparemment que de là, lorſque le refroidiſſement plus ou moins prompt de la pâte les rend plus viſibles. Ils ne le ſont pas quelquefois à la vûe ſimple, dans les grands occulaires des lunettes; mais on ne les y aperçoit que trop en regardant à travers. Ils changent la réfraction de la lumière, & par-là la figure, & le lieu apparent du point lumineux ou de l'aſtre que l'on obſerve. Ne pourroient-ils donc pas changer auſſi le cours de la

matière ſubtile qui pénètre le verre, & déterminer les corpuſcules de glace, qui n'en ſont pas moins pénétrés, à ſuivre le même cours ?

Ce fut-là ma première conjecture. Voici la ſeconde qui n'exclut pas la première, mais à laquelle pourtant je m'en tiendrai, juſqu'à ce que j'apprenne quelque choſe de plus ſur ce ſujet.

Différentes idées, en révant à ce phénomène, me portèrent à jeter les yeux ſur un livre de dépenſe pour les ouvriers que j'emploie, & j'y trouvai, que vers la fin de l'automne précédente, environ deux mois avant ma première obſervation, faite en Janvier 1729, j'avois donné mes vitres à nettoyer, & à peu près de même avant la ſeconde, faite en Janvier 1743, ſans qu'on y eût touché dans cet intervalle. Là-deſſus je me rappellai la manière dont les vitriers nettoyent ordinairement les vitres, en les couchant horizontalement ſur une table, & en paſſant par-deſſus un linge ou toute autre matière, avec du ſable fin, & un peu d'eau. Toutes les révolutions que fait alors la main de l'ouvrier ſur le verre, me parurent abſolument analogues à celles que la pouſſière de glace décrit ſur les vitres dans le cas de notre phénomène; & l'on comprend aſſez qu'il en peut réſulter quelquefois des figures fort agréables à l'œil, toûjours fort

hardies & toutes ſemblables à celles de la planche V. Car il n'eſt pas poſſible que le ſable conduit ſimplement ſur le verre, & ſouvent preſſé contre avec force, n'y laiſſe des traces & des ſillons, ſinon viſibles, du moins phyſiquement très-réels. C'eſt dans ces rainures profondes rélativement aux particules infiniment petites de l'eau & des vapeurs, que ſe loge la pouſſière de glace qui les décèle par ſa blancheur, par ſon opacité, ou par ſes différentes réfractions. Mais par ſucceſſion de temps, ces rainures, ces ſillons ſe rempliſſent de pouſſière ou du ſédiment qu'y a dépoſé l'eau des pluies ou l'humidité des maiſons; & voilà pourquoi je crois que, toutes choſes d'ailleurs égales, le phénomène doit beaucoup plus ſouvent paroître ſur des vitres nouvellement nettoyées que ſur celles qui ne l'ont été que depuis long temps, ou qui ne l'ont point été du tout : nouveau ſujet d'expériences, qui ne ſeront pas bien difficiles dans les pays où l'on éprouve ſouvent de longues & fortes gelées.

Les deux cauſes que je viens d'aſſigner à ce phénomène pourront ſouvent l'emporter l'une ſur l'autre, ou ſe compliquer, de même que la double impreſſion du ſable dont on aura frotté les deux côtés du verre; & je ſuis fort trompé ſi ce n'eſt-là le cas de certaines figures bizarres, indéciſes & entrecoupées qu'on y remarque quelquefois, &

que j'y ai vûes sur quelques carreaux autour de ceux qui étoient les mieux façonnés.

On trouve dans nos anciens Mémoires * un phénomène qui a quelque rapport avec celui-ci, & où les sels d'une infusion d'antimoine ont non seulement décrit de ces sortes de figures sur les parois internes d'une bouteille quarrée à pans, mais y ont de plus gravé & creusé sensiblement le verre dans ces mêmes contours qu'on ne sauroit attribuer à la simple crystallisation de ce minéral, qui est toûjours disposé en aiguilles très-rectilignes, & qui ne donne rien de pareil en tout autre cas.

* Mém. de l'Acad. *Tome X, p. 403*, par M. Homberg.

SECTION V.

De la Glace artificielle par le moyen des ſels.

CE ſeroit la matière d'un grand & beau Traité de Chymie. Les ſels de toute eſpèce, acides, alkalis, fixes, volatils, naturels & artificiels, leurs différentes préparations, les eſprits qu'on en retire, font autant de ſubſtances qui, étant mêlées avec l'eau, la refroidiſſent plus ou moins, fondent la glace, forment ce mélange dont on environne l'eau qu'on veut glacer, & dont il doit réſulter autant de congélations différentes par la force ou par la promptitude, qu'ils ſont doués de différentes propriétés, ou employés en différentes doſes. Je ne puis ni ne dois traiter des congélations artificielles dans une pareille étendue : cette étendue même m'oblige à m'y renfermer dans des bornes étroites. Je ne parlerai que d'un petit nombre de ſels des plus connus par rapport à la congélation artificielle, & tels que la Nature ou que la fabrique ordinaire nous les donne, je me bornerai preſqu'entièrement à ce que j'en ai dit dans les éditions précédentes, & il me ſemble que je remplirai ſuffiſamment par-là l'objet que je me ſuis propoſé dans celle-ci.

CHAPITRE PREMIER.

Que les ſels ne font geler l'eau qu'en faiſant fondre la glace qu'on met autour. Expériences ſur cette fonte.

LES ſels par eux-mêmes, & dans les mêmes circonſtances, ne ſont pas plus froids que la glace. Environnés d'air ou de tel autre corps, fluide ou ſolide, qui ne les diſſout point & qui n'en eſt point diſſous, ils prennent, comme la plûpart des autres corps, à peu près la température, le degré de chaud ou de froid du milieu ou du corps qui les environne. Ainſi de la glace briſée & du ſel briſé mêlés enſemble, ne formeroient point par la ſimple juxtapoſition, ou par le contact mutuel de leurs parties non diſſoutes, un tout ſenſiblement plus froid que la glace; & par conſéquent ce tout, ce mélange de ſel & de glace mis autour d'un vaſe rempli d'eau, ne la feroit pas plûtôt geler que la glace toute ſeule. Ce n'eſt donc que par la diſſolution, par la fuſion réciproque de la glace & des ſels, que les ſels mêlés avec la glace produiſent ou accélèrent la congélation de l'eau.

On a vû dans la première partie de cet Ouvrage * comment les particules ſalines

* Chapitre VIII.

répandues dans l'air ou mêlées dans un terrein humide pouvoient les refroidir, & produire la congélation des rivières & des lacs. Voici des effets tout différens, & en apparence tout contraires.

Les sels mêlés avec la glace la fondent très-promptement ; mêlés avec la glace & appliqués autour d'une bouteille pleine d'eau, ils font geler cette eau ; mêlés avec l'eau, ils l'empêchent de se geler, & néanmoins ils la rendent plus froide.

Le premier de ces phénomènes est le principal, & celui dont dépend, selon moi, l'explication de tous les autres ; savoir, que les sels accélèrent la fonte de la glace.

Commençons par nous assurer du fait : car comme on pile d'ordinaire la glace pour la plûpart des opérations qu'on en veut faire avec les sels, qu'on la touche quelquefois avec les mains, & qu'elle est peut-être pendant ce temps-là exposée à un air chaud, ou au souffle & à la transpiration du corps de ceux qui s'en servent, on pourroit bien attribuer la promptitude de sa fonte à quelqu'une de ces circonstances, plûtôt qu'à la vertu des sels.

J'ai pris quatre morceaux de même glace de grandeur & de figure à peu près égales, & d'environ un pouce cubique : je les ai fait bien sécher au grand froid pendant la gelée ; ensuite j'ai enveloppé ou saupoudré

un de ces morceaux de glace de sel marin bien sec & bien pulvérisé, en sorte que cette poudre faisoit tout autour une espèce de croûte. J'ai saupoudré deux autres morceaux de la même manière, l'un avec du salpêtre, & l'autre avec du sel ammoniac, & j'ai laissé le quatrième sans y rien mettre.

Pour jeter le sel sur les trois premiers, je me suis servi d'une pièce de glace que je tenois avec des pincettes de fer, afin de ne pouvoir attribuer leur fonte à autre chose qu'aux sels; & quoique je fisse tout cela au grand froid, & avec beaucoup de diligence, je me suis aperçu que les pointes, les arêtes & les angles solides de la pièce de glace dont je me servois comme d'une palette, étoient déjà tout fondus.

Les quatre morceaux de glace étant en cet état, je les ai transportés sur de petits treillis ou réseaux de fil, dans un cabinet où il y avoit un poêle, & où j'entretenois l'air au degré de chaleur des caves de l'Observatoire, c'est-à-dire, autour du 54me degré de chaleur du thermomètre de M. Amontons *, & j'ai remarqué en même temps quelle heure il étoit à une pendule.

Cette expérience ayant été répétée trois fois, en voici le résultat & le temps moyen

* Ou le 10me de celui de M. de Reaumur, qui n'a été donné depuis qu'en 1730; ces expériences ayant été faites en 1716.

des trois fontes des quatre morceaux de glace.

Le morceau qui étoit environné de sel marin, a fondu toûjours en moins d'une heure.

Le morceau du sel ammoniac, 5 à 6 minutes après.

Celui du salpêtre a été près de 2 heures à fondre.

Et le morceau de glace pure a toûjours duré plus de 5 heures $\frac{1}{2}$.

D'où il est clair que les sels précipitent la fonte de la glace. On voit bien même que cela doit arriver ainsi, lorsqu'on prend garde à la configuration des corpuscules salins: car leurs pointes sont comme autant de coins qui écartent çà & là les parties intégrantes de l'eau glacée; ils les ébranlent du moins par leur choc lorsqu'ils ne peuvent trouver d'ouverture entre deux, ils en détruisent la contiguité, & ils font en un moment ce qu'une assez grande chaleur ne feroit qu'en un temps considérable. C'est que la chaleur n'agit que par l'air & par la matière subtile, ou, pour parler plus exactement, la chaleur n'est qu'une matière subtile agitée avec un air auquel elle communique une partie de son agitation. Or la matière subtile est infiniment ténue & fluide, en comparaison des corpuscules salins, & les particules de l'air sont, comme il a été remarqué ci-dessus, beaucoup plus légères que celles de l'eau, & par

conſéquent que celles des ſels, qui ſont plus peſans que l'eau. Donc la matière ſubtile aidée de l'air ne peut pas ſi-tôt ébranler ou rompre par ſon choc les parties de la glace, les ſéparer & les liquéfier, que font les corpuſcules ſalins, dont la figure d'ailleurs eſt très-propre à cet effet, même à l'égard de certains corps beaucoup plus durs que la glace; je parle des métaux, dont on ſait que les diſſolvans ordinaires ne ſont autre choſe que des ſels.

CHAPITRE II.

Formation de la Glace artificielle.

VOYONS préſentement la liaiſon de la propriété précédente des ſels, avec la congélation qu'ils procurent à l'eau, étant mêlés avec de la glace ou de la neige, & appliqués autour d'une bouteille remplie d'eau.

Après avoir mis dans une bouteille l'eau qu'on veut glacer, on la plonge dans quelque vaiſſeau de capacité & de figure convenable, où il y a de la glace pilée ou de la neige mêlée de ſel, de manière que la bouteille en ſoit environnée; ou, ſi l'on veut, on commence par mettre la bouteille dans le vaiſſeau, & l'on remplit de ſel &

de glace le vuide qui ſe trouve tout autour.

Si les ſels, en faiſant fondre la glace, augmentent pour quelque minute ſa froideur, c'eſt-à-dire, s'ils diminuent le mouvement ou le reſſort de la matière ſubtile qui eſt contenue dans ſes interſtices, il n'y a pas de difficulté, ils doivent pendant ce temps-là procurer & accélérer la congélation du liquide autour duquel eſt le mélange de ſel & de glace : car la matière ſubtile enfermée dans ce liquide, & duquel elle fait toute la liquidité, le doit quitter & ſe mettre en partie à la place de celle qui ceſſe par ſon relâchement de lui réſiſter ou de lui faire équilibre. Or il eſt évident que les ſels doivent produire cet effet, puiſqu'ils écartent très-promptement les particules de glace qui étoient appliquées les unes contre les autres, & que par-là ils donnent lieu à la matière ſubtile qui y eſt contenue de dilater ſon reſſort. De plus, le fait eſt certain par expérience : car ſi l'on met la boule d'un thermomètre à eſprit de vin dans la glace ou dans la neige toute pure, juſqu'à ce que la liqueur s'arrête au degré de froideur de l'un ou de l'autre, & qu'on l'y replonge enſuite d'abord après y avoir mêlé un ſel, du ſel ammoniac, par exemple, on verra deſcendre l'eſprit de vin preſque ſubitement, & beaucoup plus bas qu'il n'étoit avant qu'on fît

ce mélange. L'effet eſt ſouvent plus marqué dans la neige que dans la glace, parce que les ſels s'y incorporent plus vîte, & qu'elle enveloppe plus parfaitement le verre du thermomètre. Donc par la conſtruction des liquides, la matière ſubtile enfermée dans de l'eau qui ſe rencontre tout auprès d'une glace ainſi fondue, doit s'échapper & ſe gliſſer dans les nouveaux paſſages qui lui ſont ouverts, & où elle trouve moins de réſiſtance à ſon mouvement que dans les interſtices du liquide qu'elle quitte ; & par la théorie de la formation de la glace, cette effuſion de la matière ſubtile intérieure doit être ſuivie de la congélation de l'eau, ou de tel autre liquide.

CHAPITRE III.

En quoi la Glace artificielle diffère de la Glace ordinaire.

LA glace artificielle eſt en tout ſemblable à celle qui vient ſans le ſecours de l'art par un froid très-prompt & très-violent, excepté que ſes bulles d'air prennent la plûpart une figure oblongue & conique, & que ſes premiers filets ſont courts, uniformes, ſerrés & preſque toûjours attachés perpendiculairement aux parois du vaiſſeau. J'ai

remarqué cette différence, ſur-tout en faiſant geler de l'eau dans des gobelets ronds de verre avec de la glace & du ſel marin, du ſalpêtre, ou du ſel ammoniac.

Les premiers filets de glace & les bulles d'air en pointe tournées vers l'axe du gobelet, marquent viſiblement le cours & l'effuſion rapides de la matière ſubtile de l'axe vers la ſurface, c'eſt-à-dire, vers le mélange de glace & de ſel qui environne le vaiſſeau, & vers lequel la matière ſubtile intérieure coule & tend avec d'autant plus de vîteſſe & d'abondance, qu'elle y trouve plus de place, & que les nouveaux intervalles qui s'y ſont faits par la déſunion précipitée des parties de la glace, facilitent davantage la dilatation de ſon reſſort. La figure particulière & oblongue des bulles d'air de la glace qui s'eſt formée ainſi, ne vient que de la promptitude avec laquelle elles ſont chaſſées de la ſurface vers l'axe, & de ce que les particules d'eau entre leſquelles elles ſe trouvent comprimées, ſont devenues dures & inflexibles avant que ces petits amas d'air aient pû reprendre leur figure ſphérique.

La promptitude des congélations artificielles eſt encore cauſe qu'on a ſouvent de la peine à diſtinguer les premiers filets de glace, parce qu'ils ſont ſi uniformes & ſi près les uns des autres, qu'ils forment dans un moment une eſpèce de couronne ſur les bords

bords intérieurs du vaſe qui contient l'eau, & qu'elle s'y congèle parallèlement à ces bords, à peu près comme les métaux fondus quand ils ſe refroidiſſent, juſqu'à ce qu'enfin l'endurciſſement parvienne au centre ou à l'axe.

Ces ſingularités de la glace artificielle ne détruiſent en rien ce que nous avons dit des premiers filets de la glace ordinaire, & de l'obliquité ſous laquelle ils affectent de ſe joindre les uns aux autres, & aux matières qui leur ſont analogues : car il eſt viſible que ce n'eſt ici qu'une force étrangère, une force ſupérieure à leur tendance naturelle, qui les oblige à ſe diriger perpendiculairement vers les bords du vaſe autour duquel elle s'exerce.

Du reſte, je n'ai rien remarqué dans le goût ni dans les autres qualités ſenſibles de la glace artificielle qui la fît différer de la glace ordinaire. Le piquant que quelques perſonnes ont cru y apercevoir par la communication des ſels employés à l'opération, & qui leur a fait penſer que par cette circonſtance les glaces artificielles pouvoient être mal-ſaines, ne vient, à mon avis, que d'une illuſion que j'ai déjà indiquée en parlant du goût de la glace en général *, & je ne vois pas d'apparence que le mélange de ſel & de glace pénètre juſqu'à la liqueur

* Ci-deſſus, *p.* 289.

qu'on fait geler, lorſque les vaiſſeaux qui la contiennent ſont d'une matière compacte, métallique, & ſur-tout vitreuſe. Mais comme la queſtion eſt intéreſſante, je dois dire un mot des raiſons qui me le font penſer ainſi.

C'eſt un ſentiment communément reçu & fondé ſur pluſieurs expériences chymiques, qu'en général, les parties intégrantes des ſels ſont plus groſſes que celles de l'eau. M. Lémery croyoit auſſi que ces parties, dans les diſſolutions des ſels avec l'eau, ne pouvoient ſe loger entre ſes interſtices, & il le prouvoit par cette expérience *. Il mettoit de l'eau dans un tuyau de verre juſqu'à une certaine hauteur qu'il marquoit, il y jetoit enſuite une quantité de ſel proportionnée à ce que l'eau pouvoit en diſſoudre. La liqueur s'élevoit auſſi-tôt de la quantité du volume du ſel qui s'étoit précipité au fond du tuyau; il marquoit ſur ce tuyau l'endroit juſqu'où elle avoit monté, & quand le ſel étoit entièrement fondu, il retrouvoit encore la liqueur au même endroit, ce qui n'auroit pû arriver ſi les ſels s'étoient logés en tout ou en partie dans les interſtices des parties intégrantes de l'eau.

Mille phénomènes prouvent en même temps la petiteſſe extrême des parties intégrantes de l'eau. M. Nieuwentyt, qui a fait là-deſſus bien des obſervations & un calcul

* Mém. de l'Acad. 1716, p. 166.

d'après les vapeurs qui s'élèvent d'un éolipyle, démontre que la pointe la plus aigue d'une aiguille pourroit porter plus de 13000 de ces parties *(a)*.

Mais quelle que ſoit cette petiteſſe, il n'eſt pas moins certain que les parties intégrantes de l'eau ne paſſent pas à travers les pores du verre. On a trouvé qu'une bouteille pleine d'eau, qui avoit été gardée cent cinquante ans, ne laiſſoit pas de contenir après ce terme la même quantité d'eau dont on l'avoit remplie *(b)*.

Or ſi les parties intégrantes de l'eau, bien plus petites que celles des ſels, ne peuvent pénétrer le verre, comment les ſels le pénétreroient-ils ? Je n'ignore pas qu'il y a tel fluide qui ne peut par lui-même traverſer certains corps, & qui les traverſe à l'aide d'un liquide où il eſt mêlé. C'eſt ainſi que l'air, qui ne peut paſſer à travers certaines membranes étant ſeul, y paſſe pourtant avec l'eau, puiſqu'on en retrouve cette eau toute imprégnée comme auparavant. Mais la manière dont l'air eſt contenu dans les liquides *(c)*, & la groſſeur, la ſolidité, la roideur & la figure qu'on attribue conſtamment

(a) L'exiſtence de Dieu démontrée par les merveilles de la Nature, p. 500.

(b) Muſſchenbr. *Eſſai de Phyſ. p. 425.*

(c) Ci-deſſus, *p. 133 & ſuiv.*

aux ſels, ne permettent point d'en faire l'application au cas préſent.

Reſtent les matières métalliques, comme le fer-blanc, le cuivre, l'argent, &c. dans leſquelles on fait les glaces artificielles; & il eſt vrai encore que l'eau pénètre, à ce qu'on croit, les métaux. On le juge ainſi ſur la fameuſe expérience de Florence, où une ſphère creuſe d'or remplie d'eau étant frappée avec le marteau, laiſſoit échapper l'eau par une infinité de petits points. Mais outre qu'on pourroit douter ſi la percuſſion n'y avoit pas produit bien de petites fêlures imperceptibles, qu'y a-t-il dans la ſimple juxtapoſition du mélange de glace & de ſel autour d'un vaiſſeau, qui puiſſe être comparé à la force immenſe de la percuſſion? Et quand l'eau paſſeroit à travers le métal, s'enſuit-il que les particules de ſel y paſſeroient?

Toutes ces raiſons me perſuadent que les glaces artificielles, telles qu'on les fait d'ordinaire, ne ſe chargent nullement des ſels qu'on emploie à les faire.

CHAPITRE IV.

Du dégel artificiel, ou de la manière dont on fait dégeler les fruits & les membres gelés.

SI au lieu de mettre l'éau dans la bouteille, & le mélange de ſel & de glace tout autour, on rempliſſoit la bouteille de ſel & de glace, & qu'on la plongeât ainſi dans l'eau, il eſt clair, & l'on peut aiſément s'en convaincre, qu'une partie de l'eau du vaiſſeau ſe glaceroit autour de la bouteille.

C'eſt préciſément ce qui arrive lorſqu'on fait dégeler des fruits dans de l'eau médiocrement froide, ou même dans la neige, en un lieu aſſez chaud pour qu'elle y puiſſe fondre; car il ſe forme très-promptement autour de leur peau une croûte de glace dure & tranſparente, & plus ou moins épaiſſe, ſelon la groſſeur & la qualité du fruit.

Les fruits, de même que les arbres & les plantes qui les produiſent, contiennent un ſel eſſentiel & volatil intimement mêlé avec leur ſuc; de ſorte que l'eau médiocrement froide ou la neige fondue venant à dégeler ce ſuc, qu'un froid extrême avoit fixé, y remet les ſels en mouvement, & en état d'en accélérer la fonte; la matière ſubtile voiſine, qui tend toûjours vers le côté où elle trouve

moins de réſiſtance, va remplir les ouvertures qu'ils y font, elle quitte l'eau qui touche & qui environne la peau qui tient lieu de bouteille au ſuc contenu dans le fruit, & cette effuſion de la matière ſubtile intérieure de l'eau produit ſa congélation.

Ce que je viens de dire des fruits, & que j'ai ſouvent expérimenté moi-même, arrive aux œufs & à la chair des animaux, où les ſels n'abondent pas moins que dans les fruits. Auſſi n'ignore-t-on pas en Ruſſie, & dans les pays où l'on eſt ſouvent expoſé à avoir quelque partie du corps gelée, ou extrêmement refroidie, que le meilleur moyen de remédier à ce fâcheux accident, de prévenir la gangrène, & de ranimer la partie gelée, eſt de la tremper dans l'eau froide, ou dans la neige, & d'y laiſſer reprendre peu à peu un libre cours à la circulation. C'eſt par le moyen de la neige ainſi appliquée, qu'on ſauva au Roi d'Angleterre Jacques I, pendant qu'il étoit en Norvège, un doigt de la main, & une oreille *. Le mal ne ſe fait ſentir que dans l'application du remède, & il cauſe alors de très-grandes douleurs.

* J. Barclay, *Euphormionis Luſinini. Satyricon. part. 4, cap. 8.* Voy. auſſi ſur ce ſujet Iſr. Conrad, *de Frigoris natura & effect.* Th. Barth. *de nivis uſu medico, cap. 29, &c.*

CHAPITRE V.

De l'efficacité des différens sels pour la congélation artificielle.

PUISQUE les sels n'agissent sur l'eau qu'on veut glacer, qu'en tant qu'ils produisent la fonte de la glace avec laquelle ils sont mêlés autour du vase où l'eau est contenue, il est tout naturel de penser, & l'expérience le confirme, que les sels doivent avoir d'autant plus de force ou d'efficacité pour faire glacer l'eau, que la fonte qu'ils causent à la glace est plus prompte.

Nous avons vû ci-dessus * que le sel marin étoit celui de tous qui fondoit le plus promptement la glace, ensuite le sel ammoniac, & enfin le salpêtre : c'est dans cet ordre que nous rangerons ces sels par rapport à leur efficacité pour la glace artificielle.

Mais en quoi pourroit-elle consister cette efficacité, que dans le refroidissement qu'ils produisent sur la glace concassée avec laquelle ils sont mêlés, & en la fondant ! je n'en vois pas de cause plus prochaine.

Or le refroidissement causé par ces sels mêlés avec la glace, ou dans le mélange d'eau & de glace qui en résulte par la fusion,

* *Page 356.*

ſur une partie de chacun de ces ſels avec deux parties de glace, & par le thermomètre dont on y a plongé la boule, ſe trouve différer ſelon ces rapports 15, 12 $\frac{2}{3}$, 3 $\frac{1}{2}$ *(a)*. C'eſt-à-dire, que la liqueur du thermomètre plongé dans le mélange de glace & de ſel marin y eſt deſcendue de 15 degrés de plus que dans la glace toute pure; dans le mélange de glace & de ſel ammoniac de 12 $\frac{2}{3}$, & dans le mélange de glace & de ſalpêtre de 3 $\frac{1}{2}$.

Sur quoi l'on peut remarquer que le rapport d'efficacité des ſels marin & ammoniac pour ce refroidiſſement, eſt preſque abſolument le même que celui que nous avons donné ci-deſſus *(b)*, & trouvé en 1716, pour la fonte de la glace; en raiſon inverſe des temps. Car ſi l'on compte, par exemple, 55 minutes pour la fonte du morceau de glace entouré de ſel marin, & 65 pour la fonte du morceau entouré de ſel ammoniac, on trouvera que ces nombres ſont entr'eux comme 15 & 12 $\frac{9}{13}$, qui ne diffère de 12 $\frac{2}{3}$ que de $\frac{1}{495}$. J'avoue que faute d'avoir énoncé plus préciſément ce que j'entendois par *en moins d'une heure*, pour la fonte du morceau de glace par le ſel marin, ce n'eſt ici que par eſtime que j'in-

(a) D'après les exp. de M. de Reaumur, *Mém. de 1734.*

(b) Page 356.

dique le nombre de 5 5 minutes; mais comme il n'y a nulle apparence que ce *moins* signifiât autre chose que quelques minutes; 3, 4, 5 ou 6, & que je me sers ensuite du même à peu près de *5 à 6 minutes,* pour la fonte du morceau de glace entouré de sel ammoniac; comme il n'y a, dis-je, nulle apparence que cette expression signifiât rien de plus, on trouvera toûjours le terme relatif au sel ammoniac d'environ 12 ou 13 d'efficacité. Ce qui suffit pour faire sentir l'accord de cette ancienne expérience avec la nouvelle détermination de l'efficacité de ces deux sels, & l'analogie de cette efficacité avec la promptitude des fontes.

Il n'en est pas de même à l'égard du salpêtre. Son peu de promptitude ou plûtôt sa lenteur à fondre la glace donneroit encore environ 7 d'efficacité au lieu de $3\frac{1}{2}$ qui résultent des expériences rapportées ci-dessus. Mais il y a ici une compensation à observer, c'est la promptitude avec laquelle le salpêtre déploie son action à cet égard, en comparaison du sel marin & du sel ammoniac. Car je trouve par ces mêmes expériences, faites avec une attention & dans un loisir que je n'ai pû oublier; que ce sont deux choses très-distinctes & qui ne suivent nullement le même ordre, la force ou l'efficacité des sels pour la congélation artificielle, mesurée par le degré de refroidissement, & la promp-

titude ou la lenteur de cette même congélation. Le sel ammoniac qui dissout la glace plus promptement que le salpêtre, & un peu plus tard que le sel marin, me parut toûjours celui qui donnoit la congélation artificielle la plus prompte, ensuite le salpêtre. Et le sel marin qui fait fondre la glace le plus vîte, & qui produit le plus grand refroidissement dans la glace qu'il fond, fut celui de tous qui me donna la congélation artificielle la plus lente. Ce sel est très-compacte, ses parties intégrantes ont vrai-semblablement beaucoup de peine à se désunir; mais quand elles sont une fois désunies, & qu'elles ont pénétré celles de la glace, elles y agissent plus fortement que toutes les autres.

Le sucre ordinaire, qu'on pourroit employer à la congélation artificielle au défaut des autres sels, fait descendre la liqueur du thermomètre de 4 degrés au dessous du point de la congélation; les cendres de bois verd de 3 degrés, l'alun de $1\frac{1}{2}$, & la chaux vive de $1\frac{1}{4}$. Le sel gemme purifié, plus puissant que tous les autres, la fait descendre de 17 degrés *.

Les esprits acides font d'ordinaire plus d'effet que les sels dont ils sont tirés; mais c'est une discussion qui nous écarteroit trop des bornes que nous nous sommes prescrites.

* Exp. de Mrs de Reaumur & l'Abbé Nollet.

CHAPITRE VI.

Si les Sels n'agiſſent abſolument ſur la Glace, pour la fondre, que par leur diſſolution.

MALGRÉ l'axiome de Chymie, que *les ſels n'agiſſent qu'en tant qu'ils ſont diſſous*, & quoique cet axiome ſoit en général très-vrai, j'ai toûjours penché à croire, que les ſels appliqués à de la glace bien froide, expoſée à un air très-froid, & par-là vraiſemblablement très-ſèche, pouvoient la fondre & y produire du moins une légère ſueur; après quoi la fuſion plus complète de la glace & l'action des ſels diſſous tombent dans le cas ordinaire.

Un célèbre Chymiſte *, avec qui je ne me trouvai pas d'accord ſur ce point, & qui ne croyoit pas que le principe pût recevoir d'exception, me donne lieu d'en propoſer ici le problème.

N'y auroit-il pas dans les ſels employés à la fonte de la glace quelques parties volatiles, pénétrantes & inciſives, qui s'inſinuent dans les interſtices de ſa ſuperficie, qui en ébranlent mille petits flocons imperceptibles & les font redevenir liquides? Il n'en faut

* M. Lémery.

pas davantage pour y produire un peu d'humidité : cette humidité diſſoudra bien-tôt une partie des ſels, & ces ſels diſſous acheveront la fonte de la glace.

Eſt-il plus vrai-ſemblable que la glace la plus ſèche en apparence, & dans l'air actuellement le plus froid, conſerve toûjours autour de ſa ſurface une pellicule d'eau liquide, ou, ce qui revient au même, qu'il y ait eſſentiellement dans l'eau la plus pure des parties qui ne ſe gèlent jamais, quelque grand que ſoit le froid, quelque mince que ſoit cette pellicule, & quelque favorables que ſoient toutes les circonſtances à la congélation des plus grandes maſſes d'eau ? Car c'eſt à cette alternative que ſe réduit toute la queſtion.

Il eſt ſans exemple que du ſalpêtre, du ſel marin ou du ſel ammoniac, appliqués à de la glace ne l'aient pas fait fondre en tout ou en partie, à raiſon de leur quantité & du temps qu'ils y ſéjournent. On a vû ci-deſſus avec quelles précautions j'en fis l'expérience. Je les redoublai ces précautions, en la répétant pluſieurs fois, pendant la longue gelée des mois de Janvier & de Février 1731. De grandes pincettes de fer, & tout ce que j'y employois d'inſtrumens & de ſels, étoient ſoigneuſement & long-temps refroidis à cette gelée, avant que d'en toucher la glace ; la fonte s'en

enſuivoit toûjours. M. du Fay, M. Petit Médecin, & un troiſième également exercé dans la Phyſique expérimentale & dans la Chymie, répétèrent chacun en particulier la même expérience, & avec le même ſuccès. Le dernier fit plus ; il appliqua une feuille de talc ſur la glace, mit du ſel ammoniac par deſſus, & la glace qui étoit deſſous commença à fondre *. C'eſt malheureuſement ce que je ne puis vérifier dans la ſaiſon où je finis cet ouvrage.

Comme nous nous étions tous ſervis de ce ſel dans ces expériences, quelqu'un mit en doute ſi le ſel ammoniac, quoiqu'expoſé pluſieurs heures d'avance à la gelée, ne retenoit pas toûjours aſſez de chaleur pour cauſer une petite fonte ſuperficielle à la glace. Pour l'éprouver j'enveloppai la boule d'un thermomètre de ce ſel bien pulvériſé, & je l'expoſai ainſi à la gelée : mais la liqueur de ce thermomètre s'y arrêta bien-tôt au degré de froid qu'il faiſoit alors, les 4 & 5 Février, ſavoir, à 50 du thermomètre de M. Amontons, qui répondent à 7 ou 8 degrés de celui de M. de Reaumur au deſſous du terme de la congélation, ſi ce n'eſt qu'elle

* Je n'oſe nommer ici cet habile Phyſicien, de l'Académie des Sciences comme les précédens, parce qu'il ne ſe ſouvient plus aujourd'hui de ce fait ; mais j'en trouve la note ſur mes mémoires, écrite dans le temps, & je ſuis bien ſûr de ne l'avoir pas écrite à la légère.

me parut descendre un peu plus bas. Je fis par occasion la même expérience avec du sel marin, & avec du salpêtre, & le résultat en fut à peu près le même.

Je laisse maintenant au lecteur à juger si les sels n'agissent absolument sur la glace, pour la fondre, que par leur dissolution.

CHAPITRE VII.

De la propriété qu'ont les Sels de refroidir l'eau où ils sont dissous, sans la glacer.

LES sels dont l'action est très-efficace pour faire glacer l'eau, comme le sel marin & le sel ammoniac, augmentent non seulement la froideur de la glace & de la neige, de la manière que nous l'avons vû, mais encore ces mêmes sels étant dissous à froid dans l'eau en suffisante quantité, par exemple, d'une livre de sel ammoniac ou de nitre sur 3 ou 4 pintes d'eau, ils la refroidissent, au delà même du degré de la congélation, si la froideur de cette eau en approchoit déjà.

Pour bien faire cette expérience, il faut plonger d'abord la boule d'un thermomètre dans l'eau, & l'y laisser jusqu'à ce que l'esprit de vin s'arrête au véritable degré de la froideur de l'eau; ensuite on y jetera le sel

ammoniac ou le sel marin en poudre, on le remuera avec un bâton pour le faire dissoudre plus vîte, & l'on verra dans 2 ou 3 minutes l'esprit de vin descendre de 4, 5 ou 6 degrés, plus ou moins, selon le degré de froideur qu'avoit l'eau avant qu'on y eût mis les sels. J'ai presque toûjours vû cesser la descente de l'esprit de vin en moins d'un quart-d'heure, après quoi le thermomètre remonte, mais beaucoup plus lentement qu'il n'étoit descendu, en sorte qu'il est près d'un quart-d'heure comme stationnaire.

C'est à cet égard que le sel ammoniac est de tous les sels le plus efficace, & beaucoup plus que le sel marin qui l'emporte sur tous les autres pour refroidir la glace qu'il fond, ou pour la congélation artificielle. Et voilà encore une de ces singularités à remarquer, & une distinction à faire sur l'efficacité des sels considérée sous différens aspects.

L'eau qui a été rafraîchie avec du sel ammoniac, peut servir faute de glace à rafraîchir une bouteille d'eau ou de vin presque autant que la glace, ou même à faire de la glace, comme nous le dirons bien-tôt. M. Lémery le père, dans son Cours de Chymie *, en attribue la découverte à M. Boyle. Cependant je trouve dans le P.

* Dixième édit. *part. 1. ch. 17.*

Kircher *, plus ancien que Boyle, que la coûtume de rafraîchir l'eau en été avec du ſalpêtre, étoit fort établie à Rome de ſon temps; & il n'y a point d'apparence qu'on n'y eût pas eſſayé des autres ſels. Le vil prix aura fait donner la préférence au ſalpêtre qui eſt encore à cet égard plus efficace que le ſel marin.

Toutes ces propriétés des ſels, & toutes ces irrégularités apparentes doivent cependant être ramenées à la propriété générale que nous leur avons d'abord aſſignée, de fondre, de diviſer, de diſſoudre les ſubſtances où ils ſe diſſoudent eux-mêmes, mais ſur leſquelles ils agiſſent avec plus ou moins de force, de promptitude ou de lenteur, à raiſon de leur contexture propre, de la groſſeur & de la mobilité de leurs parties, relativement à la contexture, à la groſſeur, à la mobilité des parties & à l'état actuel de ces ſubſtances. L'action du ſel marin, par exemple, n'eſt vrai-ſemblablement ſi forte & ſi marquée ſur l'eau glacée & ſolide, & dans les congélations artificielles, que par la groſſeur & par le poids de ſes parties qui heurtent celles de la glace, qui en détachent ou en ſéparent de groſſes pièces, & y cauſent des vuides où la matière ſubtile ſe dilate & perd conſidérablement de ſon reſſort: & l'action du ſel marin n'eſt ſi foible à l'é-

* *Mund. Subterr.* l. 6, ſ. 2, c. 2, *de Nitro.*

gard de l'eau pure & dans sa liquidité, que parce que ce fluide lui cède par sa mobilité, & que les particules salines s'y glissent par la simple division, sans y former des vuides si sensibles. Ce sera tout le contraire du sel ammoniac.

Le sucre, qui n'est guère que le sel essentiel du roseau d'où on le tire, le soufre, les cendres même encore chaudes, & généralement toutes les matières qui contiennent une certaine quantité de sel, rafraîchissent l'eau, & font baisser la liqueur du thermomètre qu'on y a plongé, à raison de cette quantité & des principes qui les modifient. Les autres matières, telles que le sable fin, le limon, mêlées dans l'eau, rendent seulement sa congélation plus tardive, moins ferme & moins compacte; & l'effet en est d'autant moindre, en général, qu'elles se dissolvent moins dans l'eau, & contiennent moins de sel; car il est peu de matières qui n'en contiennent.

Dans quelques-unes de ces expériences il faut prendre garde à une circonstance accidentelle qui pourroit les rendre équivoques en tout ou en partie. Je veux parler de ce que les Académiciens de Florence appellent *le saut d'immersion du thermomètre* *, ce changement

* *Salto dell' immersione*, &c. *p. clxxvij.* Voy. une explication plus particulière & le calcul de ce phénomène, *Comment. Ac. Petrop. T. IX, p. 248*, par M. Krafft.

ſubit qui ſurvient au verre de l'inſtrument, & qui a lieu, ſoit en contraction, ſoit en dilatation, toutes les fois qu'on le plonge dans une liqueur dont la température diffère ſenſiblement de celle du milieu d'où il ſort: car il monte ſur le champ dans celle qui eſt plus froide, & il deſcend dans celle qui eſt plus chaude. Il redeſcend enſuite, ou il remonte, & ce n'eſt que quelque temps après qu'il s'arrête au véritable degré de la température de l'une ou de l'autre. C'eſt ainſi, par exemple, qu'une pellée de braiſe jetée dans de l'eau où l'on plonge ſur le champ un thermomètre, en fait d'abord deſcendre la liqueur de quelques degrés. Je ne voudrois pas répondre, cependant, que la prompte dilatation de la matière ſubtile contenue dans l'eau, & le paſſage ſubit de celle que contient la liqueur du thermomètre dans les interſtices élargis de cette eau, ne fuſſent auſſi cauſe plus ou moins de cette deſcente. Mais on peut, ce me ſemble, remédier à cet inconvénient, du moins en partie, en plongeant le thermomètre dans un autre vaſe rempli d'eau, & plongé lui-même dans l'eau de celui où l'on jette tout-à-coup les ſels, les matières réfrigérantes ou *échauffantes*. Car l'eau contenue dans ce vaſe intérieur, où je la ſuppoſe en aſſez grande quantité, ne ſauroit prendre ſi ſubitement dans toute ſa maſſe le degré de chaud ou de froid de celle qui l'envi-

ronne dans le grand vaiſſeau. Le thermomètre qui en occupe le centre ou l'axe, baiſſera donc ou hauſſera moins promptement, mais auſſi d'une manière moins équivoque par rapport au phénomène dont il s'agit.

La propriété qu'ont les ſels & les matières qui en contiennent une certaine quantité, de rafraîchir l'eau où ils ſont mêlés, ſans la glacer, peut nous aider encore à comprendre comment les exhalaiſons terreſtres, les ſalines ſur-tout, qui s'élèvent dans un air humide, doivent refroidir ſenſiblement le temps, en toute ſaiſon, & plus ſenſiblement en été, où elles s'élèvent en plus grande abondance par la chaleur du Soleil. Nous avons expliqué dans la première partie, chap. VIII, & nous le verrons plus particulièrement ici, comment ce refroidiſſement peut aller juſqu'à produire la congélation.

CHAPITRE VIII.

De la congélation artificielle par le moyen des ſels, ſans glace.

J'AI douté long-temps que l'on pût faire de la glace par le moyen des ſels ſans le ſecours d'une glace étrangère, & je demeure encore perſuadé, que lorſque je commençai à travailler ſur la glace, perſonne n'avoit fait geler artificiellement de l'eau ſans ce ſe-

cours ; ſi ce n'eſt peut-être quelques gouttes par haſard & ſans connoiſſance de cauſe. La manière même dont s'y étoient pris les Auteurs qui en parlent, me confirmoit dans ce ſentiment. Je trouvois dans M. de la Hire * *que l'on faiſoit geler de l'eau déjà très-froide en enveloppant la fiole avec du ſel ammoniac tout ſeul, ſans le ſecours de la neige.* J'en fis l'expérience, qui ne me donna point de glace, comme elle ne m'en devoit point donner. J'en conclus donc que M. de la Hire n'avoit parlé que ſur le témoignage d'autrui, que cette *eau très-froide*, & peut-être toute diſpoſée à ſe geler d'elle-même, avoit, ſans doute, induit en erreur des perſonnes moins éclairées que ce ſavant homme, ou enfin, qu'on pouvoit bien avoir avancé le fait ſur la ſimple conjecture mal entendue.

La glace que quelques autres imaginoient devoir ſe faire de la diſſolution même du ſel ammoniac avec l'eau, ne me fut pas moins ſuſpecte, étant diamétralement oppoſée à la propriété conſtante des ſels mêlés avec l'eau, d'en empêcher ou d'en retarder la congélation, bien loin de la favoriſer. Le haſard de quelque prompte cryſtalliſation & le concours de pluſieurs circonſtances pourront avoir occaſionné une légère

* *Explication des effets de la Glace & du Froid.* Mém. de l'Acad. T. IX, p. 485.

congélation ſur quelques gouttes d'eau, comme il étoit arrivé à un très-habile Chymiſte * qui faiſoit diſſoudre du ſel ammoniac dans l'eau, mais qui avoue qu'il ne pût jamais revenir à produire de pareille glace, quelque tentative qu'il fît pour cela. Ces gouttes ſe trouvoient apparemment tout-à-fait dénuées de ſel, & environnées de quelques autres qui en étoient chargées, ce qui fit ſur les premières un effet ſemblable à celui du mélange de ſel & de glace fondue autour d'une bouteille pleine d'eau, ainſi que je l'ai conçu en expliquant la congélation intérieure des terres par le nitre ou les autres ſels dont elles ſont imprégnées.

J'étois donc fondé à croire qu'on n'avoit point fait de la glace par ces moyens; mais je ne l'étois pas à préſumer que la choſe fût impoſſible ou même ſi difficile, en s'y prenant autrement, & j'aurois dû raiſonner ainſi. Puiſque du ſel ammoniac pulvériſé & jeté dans l'eau la refroidit, & de plus en plus, ſelon qu'elle eſt plus froide, ſi l'on prend de l'eau déjà refroidie dans ce mélange, & qu'on jette encore dans celle-ci du ſel ammoniac pour en refroidir une ſeconde, & ainſi de ſuite, on aura donc enfin un mélange de ſel & d'eau auſſi froid ou plus froid que la

* M. Geoffroy l'aîné, *Obſervations ſur les Diſſolutions & ſur les Fermentations que l'on peut appeller froides, &c.* Mém. de l'Acad. 1700, p. 119.

glace, sans qu'il cesse d'être liquide, comme on doit le conclurre de ce qui a été dit dans le chapitre précédent. Donc si l'on plonge une bouteille d'eau pure moins froide que la glace dans ce mélange aussi froid ou plus froid que la glace, elle s'y gélera. Et c'est ainsi en effet qu'on est parvenu à faire de la glace sans glace. Découverte qui peut devenir en bien des occasions & dans bien des pays quelque chose de mieux que curieuse, & que nous devons au célèbre M. Boerhaave *.

CHAPITRE DERNIER.

De la Congélation artificielle sans glace & sans sels. Conclusion de cet ouvrage.

SI l'expérience projetée dans le chapitre V de la Section II, page 229, avec une eau plus froide que la glace & pourtant liquide, a le succès qu'on en peut attendre, on fera de la glace d'une eau moins froide que la glace sans le secours d'une glace étrangère & sans sels : car cette première eau y tiendra lieu du mélange de sel & de glace de la congélation artificielle ordinaire. Ou enfin si par quelqu'un des moyens proposés dans les chapitres VIII & IX de la même Section,

* *Chem.* De igne *Exp. 4, cor. 4.*

on pouvoit refroidir l'eau de plus en plus & jusqu'au point de la glacer, on feroit encore en ce cas, & d'une manière plus utile, de la glace sans glace & sans sels.

Voilà ce que j'ai cru de plus essentiel à dire sur la Question de la glace. Je me suis assez expliqué dans le discours préliminaire qui sert de préface à cet ouvrage, sur la difficulté de cette question, sur les justes raisons que j'avois de me défier de mes lumières en la traitant, sur la forme systématique dans laquelle je l'ai traitée & sur les systèmes en général, & enfin sur la matière subtile que j'y ai employée & qui fait la base de toute ma théorie sur ce sujet. Je ne suis pas le premier, sans doute, qui ait eu recours à cet agent universel pour rendre raison de la liquidité des corps & de leur transformation en glace; mais personne, que je sache, n'en avoit encore donné à cet égard une analyse exacte. On n'avoit pas démêlé la cause immédiate & générale de la congélation d'avec celles qui ne font que concourir avec elle, en tant seulement qu'elles en augmentent ou qu'elles en diminuent l'action; & sur-tout on n'avoit pas approfondi là-dessus la méchanique des liquides, la manière dont l'équilibre se conserve ou se détruit entre leurs parties intégrantes & la matière subtile intérieure qui leur donne

le mouvement, & l'extérieure dont ils ſont immédiatement environnés. C'étoit-là pourtant, ſi je ne me trompe, le point fondamental de la queſtion; du moins n'eſt-ce que par-là que j'ai tenté d'expliquer la formation de la glace & ſes principaux phénomènes, ſans m'écarter des idées claires de l'étendue, de la figure & du mouvement. Si parmi les explications que j'ai déduites du principe, ſi parmi les nouvelles vûes que j'ai jetées dans l'ouvrage il s'en trouve quelqu'une qui mérite d'être adoptée, je ne regretterai point le temps que j'ai donné à ces recherches, perſuadé que dans cette manière de philoſopher, la plus épineuſe, la plus tardive, &, en un ſens, la plus hardie & la plus périlleuſe, mais à mon avis la plus légitime, les moindres ſuccès nous dédommageront amplement d'une infinité de tentatives inutiles ou téméraires.

FIN.

TABLE

TABLE
DES MATIE'RES.

A

AIR, son action sur la surface des corps. *page* 21.

——Configuration de ses parties intégrantes. 47.

—— Comment s'opère son refroidissement par les sels. 48.

—— Agité, contribue à la congélation. 51, 225.

—— Tranquille, la retarde. 55, 248.

—— Soûterrain, sa température. 60 & suiv.

—— Comment il est rangé parmi les parties de l'eau. 133.

—— Tous les corps en contiennent. 135.

—— N'occupe pas un espace sensible dans l'eau. 138.

—— Perd son ressort dans les substances où il est mêlé intimement. 185.

—— Pourquoi il ne fond pas si bien la glace que l'eau. 322.

AMMONIAC (sel) Voyez *Sel ammoniac.*

AMONTONS (Guil.) [Obs. & expér.] sur le rapport de la chaleur de l'été avec celle de l'hiver. 57. Comparaison de son thermomètre à celui de M. de Reaumur. 90 & 355.

ANGLE, sous lequel s'unissent le plus souvent les filets de glace lors de la congélation. 113, 144 & suiv.

—— C'est aussi sous le même angle qu'ils s'unissent aux parois du vase qui contient l'eau. *ibid.*

—— Cause de cette inclinaison. 148.

—— Il a lieu dans l'urine congelée. 150 & 152.

ARTIFICIEL (dégel) Voyez *Dégel artificiel.*

ARTIFICIELLE (glace) Voyez *Glace artificielle.*

ATMOSPHÈRES insensibles des corps. xix & 111.

ATTRACTION, comment entendue par Newton. xix.

B

BAROMÈTRE, conjecture sur la cause de ses variations. 76.

—— Ses variations presque nulles sur les hautes montagnes. 80.

—— Ses variations ne sont guère plus sensibles dans la zone torride. 81.

BARTHOLIN (Eraſme) sa dissertation sur les figures de la neige. 164 & 313.

BARTHOLIN (Thom.) son sentiment sur le goût de la glace. 287.

BAYLE (Fr.) [observ. de] sur les corps qui nagent librement sur l'eau. 109.

BELLINI (Laur.) son problème sur l'œuf. 91.

BERNIER (Fr.) comment on rafraîchit l'eau sur la côte de Coromandel. 256.

BERNOULLI (Jean) son expérience sur la poudre à canon. 136.

BILLEREZ (...) sa relation de la grotte de Besançon. 45.

BLEU verdâtre des glaces du nord. 294.

BOERHAAVE (Herm.) son feu élémentaire. xxvij. Croit le mouvement intestin des liquides indispensable. 9. Ce qu'il dit de la chaleur souterraine. 61. Croit que l'expansion est la qualité la plus essentielle au feu. xxviij. 73. Découvre la manière de faire de la glace sans glace. 382.

BORRICHIUS croyoit que l'eau de la mer devenoit douce par la congélation. 287.

BOUGUER (Mr) hauteur de la neige des hautes montagnes du Pérou, & sur le froid excessif qu'il y fait. 79.

BOUILLET (Mr) évaporation des liquides. 16.

BOYLE (Rob.) ses atmosphères insensibles des corps. xix & 111. Sur la chaleur souterraine. 61. Sur la température du fond de la mer. 68. Sur l'air contenu dans l'eau. 138. Sur la pesanteur de la glace. 173. Sur la palingénésie. 303.

BRÈME (Adam de) glaces combuſtibles. 272.

BULLES d'air qui s'amaſſent dans l'eau quand elle eſt proche de ſa congélation. 117.

—— Soulèvent ou rompent même le milieu de la glace déjà formée. 120.

—— Sont une des cauſes de l'augmentation du volume de l'eau lors de la congélation. 126.

BUOT (Jaq.) ſon expérience, canon de fer. 176 & 266.

C

CALORIFIQUE (parties calorifiques) pures chimères. 31.

CAMUS (Mr) mines de Fahlun ou de Coperberg 45.

CANON de fer rompu par la glace. 176 & 266.

Canons de glace chargés à boulet. 278.

CASSINI, (Domin.) étoiles de la neige. 162.

CENTRAL (feu) Voyez *Feu central.*

CENTRIFUGE (force) Voyez *Force centrifuge.*

CHALEUR, ce qui la conſtitue. 31.

Chaleur, rapport de celle de l'hiver à celle de l'été dans le climat de Paris. 57.

Chaleur ſoûterraine, exceſſive & inſupportable à une certaine profondeur. 60.

CHATEAU de glace. 277.

CHILDREY (...) ſur la cauſe de l'alongement de la terre ſur ſon axe. 325.

CLAYTON (Mr) force élaſtique de l'eau par le feu. 184.

COAGULATION, ce que c'eſt. 96.

Coagulation, le feu l'opère par la même méchanique que le froid produit la glace. 97.

Coagulation du ſang. 99.

—— Du lait. 100.

—— De la chaux vive, & du plâtre pénétrés d'eau. 101.

—— Les corps qui ſont ſuſceptibles de coagulation le ſont auſſi de congélation. *Ibid.*

COHÉSION des parties, ou dureté des corps : hypothèſe ſur ce ſujet. xxij & 20.

CONCRÉTION. 100.

CONGÉLATION, sa cause est invisible. 2.

—— La connoissance de sa cause, suppose celle des liquides. 5.

—— Produite par l'absence d'une partie de la matière subtile. 35.

—— Les sels fossiles y peuvent contribuer. 44.

—— Les vents secs y contribuent aussi. 51.

—— Elle est aussi aidée par la suppression ou diminution des vapeurs chaudes qui s'élèvent du sein de la Terre en vertu du feu central. 55.

Congélation différente suivant la différence des liquides. 85.

Congélation commence aux extrémités du liquide. 108.

Congélation est plûtôt retardée qu'accélérée par le repos. 199, 206 & suiv.

—— Si la congélation change le goût de l'eau. 287.

—— Si elle dessale l'eau de la mer. *ibid.*

—— Elle change le goût des liqueurs composées. 290.

Congélation artificielle. 46 & 357.

CONSISTANCE de la glace, 269 & suiv. Voyez aussi *Glace.*

COPERBERG (mines de) ou de Fahlun. 45.

COPERNIC (Nic.) son système du monde & de la gravitation universelle. xiij.

CORPS contiennent tous une grande quantité d'air. 135.

—— Quels corps gardent le plus leur état de chaleur ou de froideur. 339.

COSSIGNY (Mr) relation de la grotte de Besançon. 46.

CUIVRE jaune, la glace qu'on y applique, s'y fond mieux que sur tout autre métal. 321.

CYRILLO (. . .) ses observations sur la gelée à Naples plus que douteuses. 240, 242.

D

DÉGEL, ce que c'est en général. 3 & 330.

—— Comment il s'opère. 29.

—— Proprement dit, ce que c'est. 330.

—— Peut être regardé comme l'inverse de la gelée. *ibid.*

—— Pourquoi il ſemble occaſionner un redoublement de froid. 332.

—— Glace ou neige adhérente aux murailles au commencement du dégel. 338 & ſuiv.

Dégel artificiel des fruits & des membres gelés. 365.

—— Raiſons phyſiques ſur quoi il eſt fondé. 365.

DÉSAGULIERS (J. Théoph.) 136.

DESCARTES, (René) ſa matière ſubtile. xvij. Sa théorie ſur l'hexagoniſme des étoiles de la neige. 163. Inſuffiſance de cette Théorie. 165.

DIGBY (le Chevalier) palingénéſie. 303.

DIGESTEUR de Papin. 192.

DISSOLUTION des corps durs dans les liquides, ſuppoſe le mouvement des parties de ceux-ci. 7.

DODART (Den.) cauſe de la perpendicularité des plantes. 75.

DURETÉ des corps. 276.

DUVET (eſpèce de) dont les glaçons des rivières ſont enduits par deſſous. 202.

E

EAU, de combien moins volatile que l'eſprit de vin. 15.

—— Ses parties les plus chaudes montent ſans ceſſe à ſa ſurface. 69.

—— Ses parties intégrantes ſont probablement oblongues. 107 & 170.

Eau augmente de volume en ſe glaçant. 122 & ſuiv.

—— En ſe glaçant rompt les vaiſſeaux où elle eſt contenue. 124.

—— Dérangement des parties intégrantes de l'eau lors de la congélation. 139.

—— Sa force expanſive prodigieuſe, même ſans congélation. 180 & ſuiv.

—— Ses parties intégrantes priſes ſéparément ſont compreſſibles & élaſtiques. 184.

Eau bouillante, ſon degré égal de chaleur. 193.

Eau bouillie, ſi elle gèle plus promptement que celle qui n'a pas bouilli. 187 & 193.

—— Sa décompoſition

très-difficile. 192.

Eau qui ne se glace point, quoique plus froide de plusieurs degrés que celui de la congélation ordinaire. 206 & suiv. jusqu'à 220 & 284.

—— Si elle peut au contraire se geler, quoiqu'en deçà de la congélation. 232, 239, 246 & 258.

—— S'il y a des pays où elle se gèle constamment par un degré de froid moindre que celui de la congélation. 239.

—— Si elle peut être refroidie & même glacée par l'agitation de sa masse, ou par l'impulsion d'un nouvel air. 246 & suiv.

—— Manière dont on rafraîchit l'eau à Quanton. 254.

—— Comment on la rafraîchit sur la côte de Coromandel. 256.

—— Arrondie en gouttes, fait sur les plantes l'effet des verres ardens. 300.

—— Pourquoi la glace se fond mieux dans l'eau que dans l'air. 322.

—— Petitesse extrême des parties intégrantes de l'eau. 362.

Eau, ne pénètre pas le verre. 363.

—— Rafraîchie avec du sel ammoniac. 375.

—— Origine de cette découverte. 376.

Eau de vie par la simple congélation du vin. 91.

Eaux fortes ne gèlent point. 95.

ÉBULLITION, chasse de l'eau une grande quantité d'air 190.

ÉLASTICITÉ du fluide actif répandu dans l'Univers. xxj.

Élasticité inconcevable sans de petits tourbillons. xxvij.

ÉOLIPYLE, comment on le remplit. 206.

ÉQUILIBRE de la matière subtile avec les parties intégrantes des corps, expliqué. 26 & suiv.

ESPRIT DE VIN, combien plus volatil que l'eau. 15.

—— Quel prodigieux degré de froid il faudroit pour le geler. 89.

Esprit de nitre ne se gèle point. 95.

Esprits acides font d'ordinaire plus d'effet pour la congélation que les sels d'où ils sont tirés. 370.

ETAIN, fond dans le digeſteur de Papin. 192.

ETHER *chymique*, ſon extrême volatilité. 15.

ETOILES de la neige, ou flocons ſexangulaires. 160 & 313.

—— Idée de Deſcartes ſur ces étoiles. 163.

Etoiles de diverſes eſpèces dans la neige. 313.

EVAPORATION des liquides, preuve de leur mouvement inteſtin. 9.

—— Rapport de l'évaporation de l'eſprit de vin à celle de l'eau. 14.

Evaporation dans le vuide. 16.

—— Les ſolides ne ſont pas exempts d'évaporation. 307.

EXPANSION, ſelon Boerhaave, qualité la plus eſſentielle du feu. xxviij, 73.

Expanſion des particules de l'eau lors de la congélation. 175.

EXPÉRIENCES, leur utilité & leur abus. viij & ſuiv.

F

FAHLUN (mines de) ou de Coperberg. 45.

FAHRENHEIT (...) ſes expériences ſur l'eau & ſur la gelée. 207. Son thermomètre rapporté à celui de M. de Reaumur. *ibid.*

FER, expériences de M. de Reaumur ſur le fer. 122.

—— Se dilate en ſe refroidiſſant. *ibid.*

FERMENTATIONS appellées froides. 381.

FEU central, ſon exiſtence. 60, 65 & 70.

—— Ses effets ſur les eaux de la mer. 66.

—— Ses émanations ont une impulſion ſenſible. 73.

—— Eſt probablement la cauſe de la perpendicularité des plantes. 74 & ſuiv.

—— Cauſe des variations du baromètre. 76.

—— Applicable au grand froid des montagnes. 78.

FIGURES ordinaires à la ſuperficie de la glace. 115, 144.

—— Bizarres & ſingulières. 301.

—— Curvilignes quelquefois tracées ſur les vitres par des brins de glace. 342.

—— Examen de ce phé-

nomène. 344.

FILETS par où commence la glace. 104, 144, 195 & 231.

——— Méchanique de leur formation. *ibid.* & suiv.

——— Pourquoi les premiers formés sont couchés horizontalement sur la surface de l'eau. 107, 165 & 231.

——— Tiennent d'ordinaire par un de leurs bouts aux parois du vaisseau : cause de leur adhésion. 108.

——— Cas à excepter. 109.

Filets, leur inclinaison par rapport aux parois du vase, & les uns par rapport aux autres. 113, 144 & 195.

——— Descriptions des différentes sortes de tissus qu'ils forment. 114 & 145.

——— Ressemblent le plus souvent à des feuilles. 115 & 145.

FLOCONS de neige, arrangement des filets de glace qui les composent. 160, 171, 313.

FLUIDE actif & élastique de Newton. xxvij.

Fluide, ce que c'est en général ; en quoi diffère des liquides. 6.

——— Peut devenir liquide. 17.

——— Expansif est aussi impulsif. 72.

——— Tel fluide ne peut pénétrer seul un corps qui y passe mêlé avec un liquide. 363.

FONTE de la glace, comment elle s'opère. 29 & 319.

——— Plus lente que la formation. 323 & suiv.

——— Dans quelle progression elle se fait. 327.

——— Par où elle commence. 328.

FORCE centrifuge, seul principe d'élasticité primitive dans un fluide. xxvij. 20.

Force d'inertie, ce qu'il faut entendre par ce terme. 24.

FRIGORIFIQUES (parties) Voyez *Parties frigorifiques*.

FROID, ce que c'est. 31.

——— Diminue d'abord le volume du liquide en le condensant. 36.

——— L'augmente au contraire au moment qui précède la congélation. 122.

—— Expérience propre à constater ce fait. 123.

Froid de la glace, n'est pas le plus grand qu'il y ait. 206 & 284.

—— Pourquoi le froid semble redoubler lors du dégel. 332.

FROIDEUR de la glace se communique promptement à l'air circonvoisin. 287.

G

GAUTERON (Méd. Sécr. de la Soc. R. de Montp.) évaporation de la glace. 308.

GELÉE, sa cause générale. 29.

—— Ses causes accidentelles. 43, 51, 55 & 84.

—— Peut ne pas agir sur l'eau, quoique refroidie au delà de la congélation. 206 & suiv.

—— Si au contraire elle peut arriver par un degré de froid moindre que celui de la congélation. 232 & 246.

—— S'il y a des pays où la gelée arrive constamment par un froid moindre que celui de la congélation. 239 & 240.

Gelée, pourroit n'être pas dans notre climat, un effet nécessaire de la vicissitude des saisons. 333.

GENSANE (Mr de) observations sur la température des mines, envoyées par lui. 62.

GEOFFROY (l'aîné, Méd.) sur les fermentations appellées froides. p. 381.

GEOFFROY (Mr) sur les huiles qui se figent. 94. Composition du sel ammoniac. 148. Distingue un grand nombre de sels différens dans l'urine. *ibid* Son observation sur l'eau de fleur d'orange gelée. 290.

GIROMAGNY (mines de). 62.

GLACE, voyez les articles qui la regardent ci-dessus & ci-après, & la table des chapitres.

—— Sa formation. 29 & suiv.

—— Toûjours plus légère que l'eau, & surnage toûjours. 124, 196 & 261.

—— Palais, murailles, fortifications de glace. 279.

Glace, jusqu'où elle pénètre dans les terres. 287.

——Ses qualités médicinales. 290.

Glaces du nord. 271, 293, 295, 297 & suiv.

Glace, se fond mieux dans l'eau que dans l'air, ou même près du feu. 323 & 326.

—— Espèce de glace ou de neige qui se forme sur les murailles dans le temps du dégel. 338.

——Erreur sur ce sujet. 341.

Glace artificielle. 46, 357 & suiv.

—— Si elle diffère de la glace commune. 359.

GLACIÈRE, ou grotte de Besançon. 45.

Glacières. 324.

GLAÇONS des rivières, ne se forment pas à leur fond. 194 & suiv.

Glaçons des mers du nord. 271.

Glaçons autour du cercle polaire. 324.

—— Idée de Childrey sur ce sujet. 327.

GLOBULES du sang, Voyez *Sang*.

GMELIN (Mr) ses observations sur le froid extrême de Sibérie. 82.

GODEHEU (Mr) sur la manière de rafraîchir l'eau à Quanton. 254.

GRAVESANDE (Guil. Jaq.) sur l'air contenu dans la poudre à canon. 136.

GRAVITATION universelle admise par Copernic. xiij.

—— Comment expliquée par Newton. xix.

GRESLE d'été. 260.

Grêle enflammée, imaginée par Krantsius. 273.

GOUST de la glace. 287.

GUSTAVE (Charles) rupture de la glace sous les pieds de 100 Cavaliers de son armée. 283.

H

HALES (Mr) son opinion sur les glaçons des rivières. 198.

HAMEL (J. B. du) de l'excès du volume de la glace sur celui de l'eau. 263.

HAUKSBÉE (Fr.) son expérience sur la poudre à canon. 136. Remarques sur son thermomètre. 242.

HEXAGONISME, configuration fort ordinaire

— dans la Nature. 165.

HIRE (Phil. de la) son idée sur la cause de la perpendicularité des plantes. 76. Manière dont on détache du roc les meules de moulin. 182. Sur la réfraction de la glace. 298. S'est trompé sur la congélation immédiate de l'eau par le sel ammoniac. 380.

HIVER, pourquoi en cette saison il fait plus froid qu'en été. 33 & 49.

HOFFMAN (Fréd.) distingue dans l'eau des parties plus subtiles & d'autres plus grossières. 191.

HOMBERG (Guil.) son expérience douteuse sur le volume de la glace. 173. Ses expériences sur la fonte de la glace dans le vuide. 323.

HUGUENS (Chrét.) son expérience sur l'air contenu dans l'eau. 138. Détermine les angles du crystal d'Islande. 155. Son expérience sur un canon de fer rompu par la glace. 176 & 266.

HUILES, quelles sont celles qui se gèlent plus aisément. 95.

I

JACQUES I. Roy d'Angleterre, comment on lui sauva une oreille & un doigt gelés, en y appliquant de la neige. 366.

JALLABERT (Mr) ses expériences sur l'eau refroidie au delà de la congélation. 211.

IMPULSION nécessaire, selon Locke. xx.

l'*Impulsion* d'un nouvel air sur l'eau, la peut-elle refroidir! 246 & suiv.

—— Pourroit-elle la congeler! 258.

INCLINAISON des filets de glace entr'eux, & par rapport aux parois du vase. Voyez *Angle*.

INERTIE (force d') Voy. *Force d'inertie*.

INTÉGRANTES (parties) Voy. *Parties intégrantes*.

ISLANDE, dureté de ses glaces; & leur combustibilité prétendue. 272.

K

KÉPLER (Jean) son système harmonique & mystérieux. xj.

KIRCHER (Athan.) son sentiment sur le goût de la glace. 287. Connois-

soit le refroidissement de l'eau par le salpêtre. 376.

KRAFFT (Mr) sa relation du palais de glace construit à Pétersbourg. 277. Saut d'immersion des thermomètres. 377.

KRANTSIUS (...) 273.

L

LANTERNE d'osier, usitée à Quanton pour y faire rafraîchir l'eau. 254.

—— Si l'on pourroit avec cette machine se procurer de la glace. 258.

LEEUWENHOEK (Ant.) ses observations sur les parties intégrantes du sang. 98 & 154.

LÉMERY (Louis) son expérience sur la grosseur des parties intégrantes des sels. 362. De l'action des sels par leur dissolution. 371.

LIQUEURS (deux) mêlées ensemble, sont souvent moins de volume que séparées. 134.

LIQUIDES de différentes espèces à l'infini. 3.

—— Leur définition : en quoi diffèrent des fluides. 6.

—— Mouvement intestin de leurs parties. 7.

—— Réalité de ce mouvement. *ibid.* 11 & 15.

—— Leur évaporation en est une preuve. *ibid.*

—— Peuvent devenir fluides. 17.

—— Ce qui constitue la dureté de leurs parties intégrantes. 21.

—— Quelle cause en empêche la dissipation & les fait résister un peu à leur désunion. 23.

—— Quels sont ceux qui se gèlent plus difficilement. 86.

—— S'il y en a dont la congélation soit impossible. 87.

Liquides spiritueux (les) qui le sont le plus, sont aussi les plus difficiles à geler. 88.

LIQUIDITÉ, sa définition. 6.

—— Ce qui l'augmente ou la diminue. 21 & 258.

LOCKE (Jean) ce qu'il dit de l'impulsion. xx.

LUID (Edm.) a mal vû & représenté les congélations urineuses. 153.

M

MACHINE de Papin. 192.

MALEBRANCHE (le P.) ſa matière éthérée & ſes petits tourbillons. xxvj & 20.

MARBRE pétardé, s'exfolie dans la gelée. 177.

Marbre, réſiſte à ſa rupture environ dix fois plus que la glace. 275.

MARIOTTE (Edme) air qu'il tire d'une goutte d'eau. 137. Sur l'eau qui a bouilli. 189. Sur la rentrée de l'air dans l'eau. 191.

MARSIGLI (Ferd. Comte de) température de l'eau de la mer. 66. Profondeur de la mer. 70.

MARTENS (Fréd.) ſa deſcription des glaces du Nord. 271, 288, 293, 295, 301.

MARTINE (Geor.) ſur la figure des globules du ſang. 99. Sa table de comparaiſon de divers thermomètres. 207 & 242.

MASSE (le repos de) de l'air ou de l'eau, ſes effets. 220 & ſuiv. & 258.

MATIÈRE ſubtile; de Deſcartes. xvij.

—— De Newton. xix & xxj.

—— Son reſſort. 19.

—— Cauſe de la cohéſion des parties ou de la dureté des corps. 20.

—— S'inſinue dans les pores les plus étroits des corps 21.

—— Se meut avec moins de vîteſſe dans les interſtices d'un liquide, que la matière ſubtile extérieure. 24.

—— Son équilibre avec les parties intégrantes des liquides, expliqué. 26 & ſuiv.

—— Cauſes qui diminuent ſon activité. 32, 35.

—— En quelle raiſon ſe peut faire cette diminution. 38.

—— Preſſion de l'extérieure ſur le liquide qui ſe congèle. 41.

—— Se meut avec plus de liberté dans la glace que dans l'eau. 105, 106, 223, 226.

—— Se meut différemment dans différentes ſubſtances. 225 & 249.

MER, sa température. 66 & suiv.

—— Ne gèle que jusqu'à une vingtaine de lieues des côtes. 272.

—— S'il est vrai que son eau se dessale en se glaçant. 287.

—— Quelles couleurs elle réfléchit. 296.

MERCURE ne se gèle jamais. 95.

MICHELI du Crest, son thermomètre. 62. Son observation sur la glace. 210.

MOLÉCULES, définition de ce terme. 19.

MONNIER (Mr le) [Méd.] ses expériences sur la fluidité des liquides. 14.

MONTAGNE de glace formée à Lyon sur la Saône. 332.

Montagnes, la plûpart des grandes montagnes ont été vrai-semblablement des volcans. 65.

—— Froid excessif qu'il y fait. 79.

—— Les variations du baromètre y sont presque nulles. 80.

MUSSCHENBROEK (Mr) rapport de la pesanteur spécifique de l'eau à celle de l'esprit de vin. 14. étoiles qu'il a observées dans la neige. 162. Volume de la neige. 315. Cité 192, 209, 236, &c.

N

NATURE (la) tend à une espèce d'équilibre & d'uniformité. 334.

NEIGE souvent composée ou parsemée d'étoiles à six rayons. 160.

Neige commune. 171.

—— Les rayons de ses étoiles sont eux-mêmes souvent chargés d'autres petits rayons. 161 & 312.

—— Fondue, ne se gèle ni plus ni moins vîte que de l'eau ordinaire. 189.

—— Conjecture sur la formation de la neige. 259 & suiv.

Neige artificielle. 291.

Neige, ce que c'est que ce météore. 311.

—— A flocons parfaitement symmétrisés. 314.

—— En tant que glace en a toutes les propriétés. 315.

—— Son volume. *ibid.*

—— Sa rareté, ſon évaporation. 316.
—— Son opacité, ſon goût. 317.
—— Ses qualités médicinales. 318.
Neige (eſpèce de) adhérente aux murailles dans les temps de dégel. 338.
NEWTON (If.) ſes expériences d'optique. ix. Sa phyſique céleſte. xiv. Sa lettre à M. Boyle ſur les atmoſphères inſenſibles des corps. xix. Son explication de la peſanteur. *ibid.* Son Ether élaſtique. xxj. Comment il a pû l'entendre. xxvj. Admet tacitement les petits tourbillons. xxviij. Son idée ſur la température des planètes ſouffre reſtriction. 33. Croit toutes les petites parties des corps tranſparentes. 292.
NIEUWENTYT (Bern.) ſes obſervations ſur la petiteſſe des parties intégrantes de l'eau. 363.
NITRE répandu dans l'air, cauſe des gelées. 43.
Nitre, ſon *eſprit*, ou même ſa fumée, fige l'huile d'olive. 49.
Nitre (Eſprit de) Voyez *Eſprit*.
NOLLET (M. l'Abbé) volume de l'air contenu dans différentes matières. 136. Ses obſervations ſur la glace des rivières. 195. Ses obſervations ſur le refroidiſſement de l'eau par divers ſels. 370.

O

OBLIQUITÉ des rayons du Soleil, rend ſa chaleur moins vive. 33.
OBSERVATIONS météorologiques. 336.
—— Leur utilité. 337.
OLAUS Magnus, fortifications de glace dans le nord. 379. Epaiſſeurs qu'il veut qu'ait la glace pour différentes charges. 281.
OPACITÉ, ſa cauſe 292.

P

PALAIS de glace conſtruit à Péterſbourg. 277.
PALINGÉNÉSIE. 302 & ſuiv.
PAPIN (Mr) ſon *digeſteur*. 192.
PARHÉLIES formés ſur des glaces. 298.
PARTIES calorifiques. Voy. *Calorifique*.

Parties frigorifiques, pure chimère. 31.

Parties intégrantes, définition. 18.

PENTAGONISME très-commun dans la Nature. 165.

PERRAULT (Claude) ſes obſervations ſur l'obliquité des filets de glace avec les parois du vaſe. 113. ſur l'eau qui a bouilli. 189.

PERPENDICULARITÉ des plantes. Voyez *Plantes.*

PESANTEUR, méchaniquement expliquée par Newton. xix.

PHYSIQUE céleſte Newtonnienne. xiv.

Phyſique proprement dite, roule ſur le fini. xxiv.

PLANÈTES, leurs températures peuvent n'être pas auſſi différentes de celle de la Terre, qu'on le croiroit par leurs différentes diſtances au Soleil. 33.

PLANTES, cauſe de la perpendicularité de leurs tiges. 74.

——Hexagoniſme, pentagoniſme, &c. des capſules de leurs graines. 165.

—— Leur prétendue palingénéſie. 303.

—— Contiennent un ſel eſſentiel. 355.

PLOMB fondu : ſon degré de chaleur. 193.

POUDRE à canon : obſervations de pluſieurs Phyſiciens ſur l'air qu'elle contient. 136.

PYRITES, leur conſtruction particulière 156.

—— Cette conſtruction n'eſt pas fortuite. 157.

Q

QUALITÉS ſenſibles des corps, ſouvent confondues avec les ſenſations qu'elles excitent. 30.

R

RAFRAICHISSEMENT artificiel. 377.

REAUMUR (Mr de) ſes expériences ſur la production du froid par les ſels & les eſprits acides. 88 & 368. Son thermomètre comparé à celui de M. Amontons. 90 & 355. A obſervé que le fer ſe dilate en ſe refroidiſſant. 122. La diminution de volume de deux liqueurs mêlées enſemble. 135. Son mémoire ſur la nature de la Terre. 180, &c.

RÉFRACTION de la glace. 298.

RÈGLE de Képler, dûe à ſon ſyſtème. xj.

REPOS (le) de l'eau & de l'air, favoriſe la liquidité. 199, 206 & ſuiv.

Repos de maſſe. 220.

RÉSISTANCE de la glace à ſa rupture. 274.

RESSORT, en quoi il conſiſte. xxvij & 19.

—— De la matière ſubtile. *ibid.*

RIVIÈRES, ſi les grandes commencent à geler par leur ſuperficie, ou par le fond de leur lit. 194 & ſuiv.

S

SANCHES (Mr Ant. Ribeiro) épaiſſeur de la glace de la Neva. 277.

SANG, globules qui en compoſent la partie rouge. 98.

—— Peſanteur de ſes globules & de ſa féroſité. 99.

—— Conſtruction de ſes globules. *ibid.* 153 & 168.

—— Comment ſe fait ſa coagulation. 99 & 100.

SATURNE, (Planète de) reçoit cent fois moins de chaleur du Soleil, que notre globe. 33.

SAUT d'immerſion du thermomètre. 377.

SCHEUCHZER (J. Jaq.) ſes obſervations ſur les neiges des Alpes. 79. Sur les variations du baromètre. 80.

SCHWENCKE (Mr) ſes obſervations ſur le ſang. 99.

SEINE (la riv. de) ſon courant ne gela pas en 1709 à Paris. 202.

SEL ammoniac, fait promptement fondre la glace. 356.

—— Rapport de ce ſel avec le ſel marin pour le refroidiſſement de l'eau. 368.

Sel ammoniac, eſt en cela le plus efficace. 375.

SEL marin : mêlé avec la glace, la refroidit beaucoup. 368.

—— Conſtruction de ſes cubes. 159.

SELS, configuration de leurs parties intégrantes. 47.

Sels foſſiles, vitrioliques, & de toute eſpèce, ré-

pandus dans l'air le refroidiſſent. 374, 45 & ſuiv.

—— Fondent la glace. 353.

—— Produiſent les congélations artificielles par cette fonte. 357.

—— Efficacité de différens ſels à cet égard 367.

—— Groſſeur de leurs parties intégrantes. 362.

—— S'ils n'agiſſent qu'en tant qu'ils ſont diſſous. 371.

—— Mêlés avec l'eau l'empêchent de geler. 374.

SIBÉRIE, hivers terribles qu'on y éprouve. 82.

SOLEIL, grand réſervoir de la chaleur. 32.

—— Cauſes qui peuvent affoiblir l'action de ſes rayons. *ibid.*

SOLIDES, ſe diſſipent moins vîte que les liquides. 307.

SPIRITUEUX. Voyez *Liquides ſpiritueux.*

SUBTILE. Voyez *Matière.*

SUCRE, refroidit l'eau. 370.

SYSTÉMATIQUE (eſprit) ix.

SYSTÈMES, utilités & abus des ſyſtèmes. vj. & ſuiv.

Syſtème de Képler. xj.

—— De Copernic. xiij.

T

TAITBOUT (Mr) Conſul de France à Naples, ſes obſervations météorologiques. 244.

TEMPÉRATURE des planètes pourroit n'être pas bien différente de celle de la terre. 33.

TÉNACITÉ de la glace. 275.

—— Des corps en général n'eſt pas la même choſe que leur dureté. 276.

TENDANCE des filets de glace à former entr'eux des angles de 60 degrés. 113, 144, 160 & 169.

THERMOMÈTRE (effet du vent ſur le) 54 & 249.

Thermomètre de Farenheit, rapporté à celui de M. de Reaumur. 207.

—— D'Haukſbée. 242.

TOURBILLONS (petits) tacitement admis par Newton. xxvij.

TRANSPARENCE, de la glace. 291.

—— Naturelle aux petites parties de tous les corps. 292.

TREMBLEMENS de terre, leur cause. 65.

TRIEWALD (Mr) son observation sur de l'eau exposée à la gelée, où elle ne gela pas. 209.

V

VAPEURS chaudes qui s'élèvent de la terre, leur suppression ou diminution contribue à la congélation. 55 & 84.

Vapeurs enfermées, leur force à se dilater. 184.

—— Conjecture sur leur refroidissement dans l'atmosphère. 259.

VARIGNON (P.) son expérience sur l'adhérence de la glace aux autres corps solides. 275.

VENTS secs contribuent à la congélation. 51.

—— Effet du vent sur le thermomètre. 54 & 249.

Vents moins réglés dans la zone tempérée que dans la torride & les polaires. 335.

VERRE, son affinité avec l'eau. 109 & 226.

VILLUZKA (mines de sel de) leur température. 64.

VIN, eau de vie qu'on en tire par la congélation. 91.

VOLCANS, leur cause 65.

—— La mer en a comme la terre. 71.

VOLUME, augmentation de celui de l'eau pendant la congélation. 122 & suiv.

—— Causes de cette augmentation. 126, 139 & 169.

—— Quelle cause y concourt plus puissamment. 172.

—— Celui de deux liqueurs mêlées ensemble, est souvent plus petit que la somme des deux liqueurs séparées. 134.

—— De la glace. 261 & suiv.

—— S'il augmente encore après qu'elle est formée. 265.

—— Des glaçons des mers du nord. 263.

VOSSIUS (Is.) son opinion sur la transparence. 292.

URINE, contient différens sels. 148.

—— Ses congélations. 150 & 152.

W

WALLER (Mr) ſes expériences ſur l'évaporation des liqueurs dans le vuide. 16.

Z

ZONE, pourquoi dans la glaciale il fait plus froid que dans la torride. 33.

—— Torride: ſa ſurface plus éloignée du centre de la Terre que celle des Poles. 81.

—— Tempérée: les pluies & les vents y ſont moins réglés que dans la torride & dans les polaires. 335.

Fin de la Table.

Faute à corriger.

Page 287, ligne 5, au lieu de beaucoup loin, *liſez* beaucoup plus loin.

Planche I.

à la fin du Volume

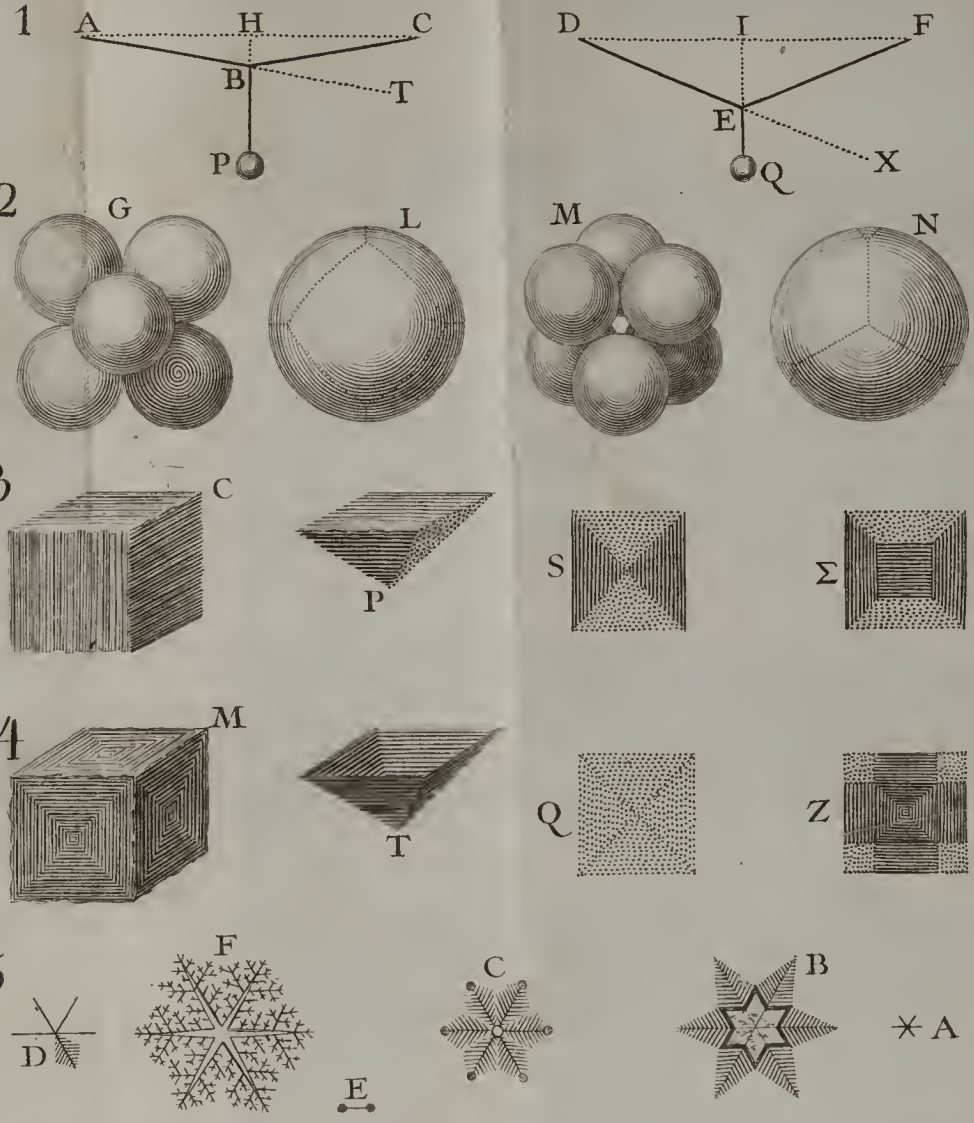
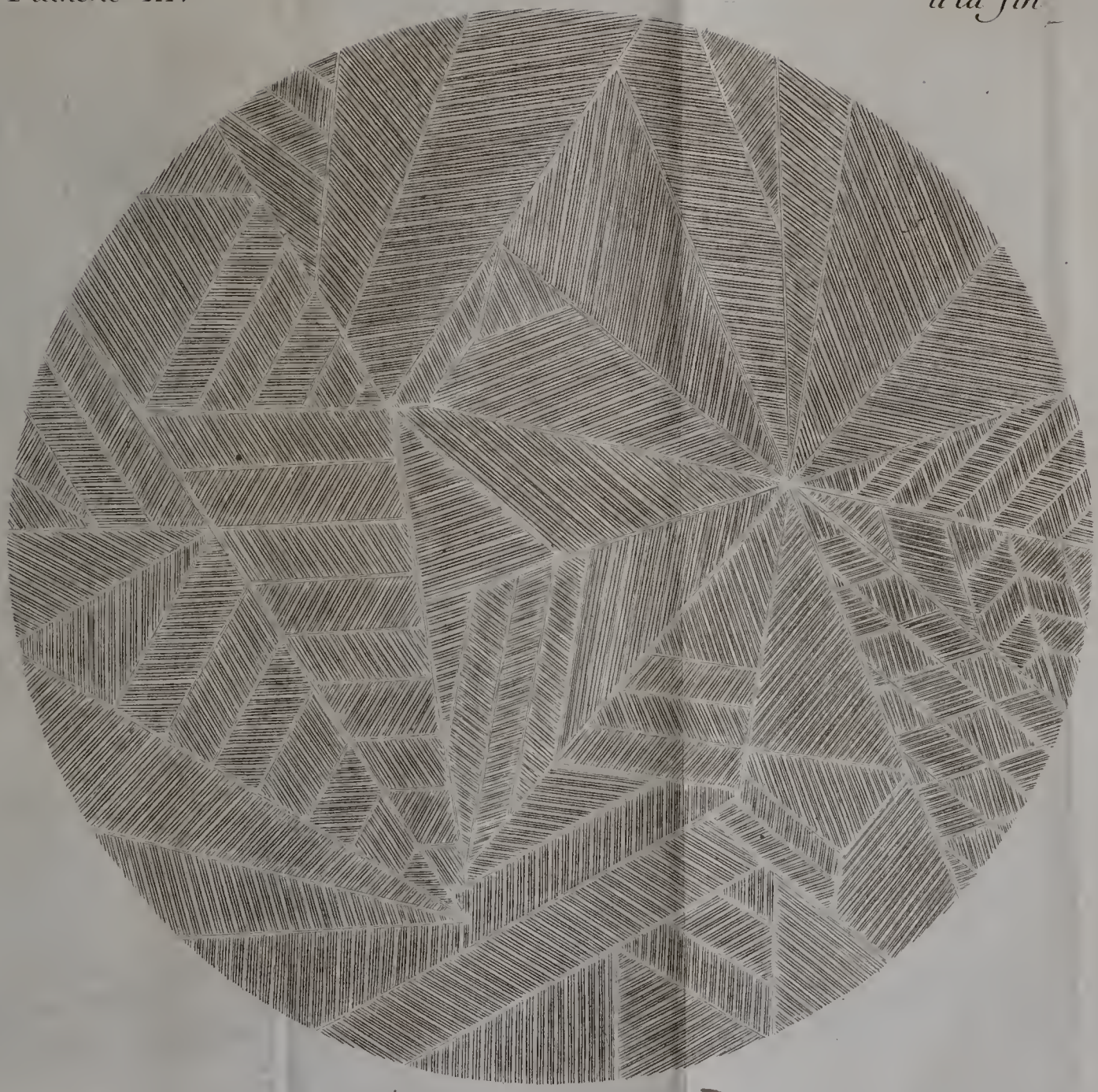
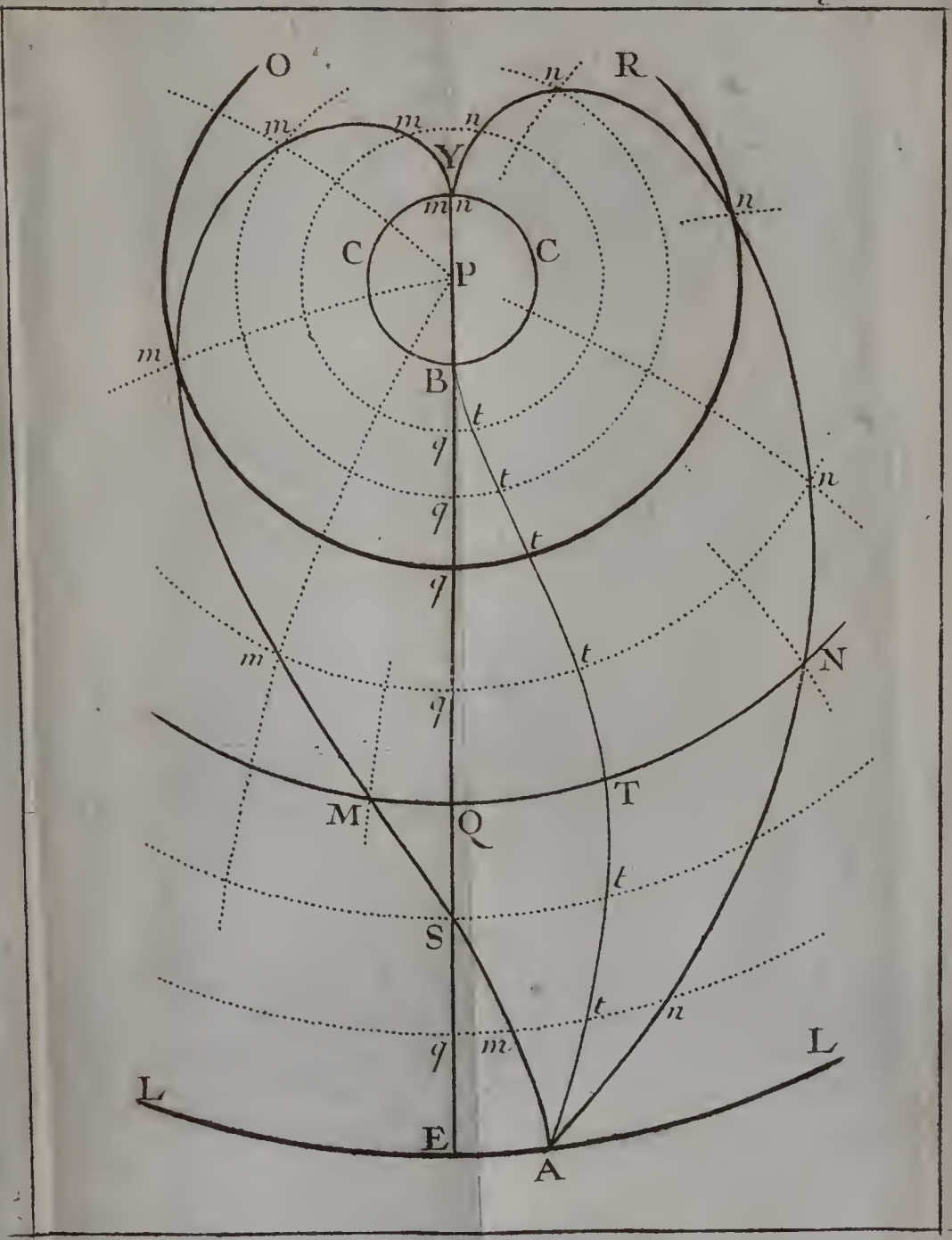

1
A
H
C
B
T
P
D
I
F
E
X
Q
2
G
L
M
N
3
C
P
S
Σ
4
M
T
Q
Z
5
D
F
E
C
B
A

Planche III. *à la fin*




O
R
Y
C
C
P
B
M
Q
T
N
S
E
A
L
L
m
n
t
q

10
8.75
35
10
75
30
10
50

105

2019-R504

4